ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞান

ডঃ ডি. পি. রায়চৌধুরী
অধ্যাপক দীপক রায়

এ মুখার্জী অ্যান্ড কোং প্রাইভেট লিমিটেড

Written according to the Syllabus introduced by the West Bengal Council of Higher Secondary Education for Classes XI & XII.

ব্যবহারিক
পদার্থবিজ্ঞান

ডক্টর ডি. পি. রায়চৌধুরী, ডি. এস-সি.
কল্যাণী বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থবিজ্ঞানের প্রাক্তন অধ্যাপক
ও বিভাগীয় প্রধান ; মধ্যশিক্ষা পর্ষদের প্রাক্তন সচিব

ও

অধ্যাপক দীপক রায় এম. এস-সি.
নিউ আলিপুর কলেজ, কলকাতা

এ মুখার্জী এ্যাণ্ড কোম্পানী প্রাঃ লিঃ
কলকাতা ● দিল্লী ● বোম্বে ● হায়দ্রাবাদ

প্রকাশক
রঞ্জন সেনগুপ্ত
এ মুখার্জী এ্যাণ্ড কোং প্রাঃ লিঃ
২ বঙ্কিম চ্যাটার্জী স্ট্রীট
কলকাতা-৭০০০৭৩

দিল্লী শাখা
কমিউনিকেশন সেণ্টার
এম-৭০ গ্রেটার কৈলাশ ২
কমার্শিয়াল কমপ্লেক্স
নিউ দিল্লী-১১০০৪৮

প্রথম প্রকাশ : জুলাই, ১৯৮৫
দ্বিতীয় সংস্করণ : আগস্ট, ১৯৮৬
তৃতীয় সংস্করণ : আগস্ট, ১৮৯৭
চতুর্থ সংস্করণ : জুলাই, ১৯৮৮

প্রচ্ছদ : শৈলেন নন্দী

মূল্য : কুড়ি টাকা

মুদ্রাকর
উদিত উদ্যোগ
৪২ মহেন্দ্র গোস্বামী লেন
কলকাতা-৭০০০০৬

ভূমিকা

বইখানি XI—XII ক্লাশের পাঠ্যসূচী অনুযায়ী লেখা। পদার্থ-বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখার অন্তর্গত করণীয় পরীক্ষণ (experiment)-গুলিকে একসঙ্গে একই পরিচ্ছেদে রাখা হয়েছে।

প্রত্যেক পরীক্ষণে যেসব যন্ত্র ও অন্যান্য জিনিস লাগবে তার তালিকা পরীক্ষণের কার্যপ্রণালী আলোচনার আগেই দেয়া হয়েছে। মূলতত্ত্ব এক হলেও কোন কোন যন্ত্রের গঠন একাধিক রকমের হতে পারে। সকল রকম গঠনের যন্ত্রের বর্ণনা দেয়া সম্ভব নয় বলে কেবল অপেক্ষাকৃত সরল গঠনের এবং বেশী ব্যবহৃত যন্ত্রের বর্ণনা দেয়া হয়েছে। যেখানে যন্ত্রের গঠন বইয়ে দেয়া গঠনের চেয়ে আলাদা, আশা করি ভারপ্রাপ্ত শিক্ষক মহাশয় ছাত্রকে তা বুঝিয়ে, কাজ করবার উপযুক্ত নির্দেশ দেবেন।

প্রত্যেক পরীক্ষণেই তা কিভাবে করতে হবে, এবং পরীক্ষণসংক্রান্ত কার্য-বিবরণী কিভাবে লিখতে হবে, তা বিশদভাবে বলা আছে। যেখানে নিরীক্ষার (Observation-এর) ফল সারণির (Table-এর) আকারে প্রকাশ করা সুবিধা সেখানে সারণির আকারে দেখান হয়েছে। পরীক্ষণের বিভিন্ন ধাপ বোঝাবার জন্য দরকার মত একাধিক ছবি দেয়া হয়েছে। তাতে তত্ত্বাবধানের কাজে শিক্ষক মহাশয়ের কিছু সাহায্য হবে এবং ছাত্রদেরও সুবিধা হবে মনে করি। কিন্তু শিক্ষণের ব্যাপারে বই কখনও শিক্ষকের স্থান নিতে পারে না। পরীক্ষণের কাজে ছাত্রকে পরিচালনা করতে শিক্ষকের নির্দেশ অপরিহার্য; কেবল বইয়ের সাহায্যে তা হয় না।

যে পরীক্ষণগুলি একই শাখার অন্তর্গত সেগুলি আলোচনার আগে ঐ শাখা-সংক্রান্ত কাজে প্রয়োজনীয় কিছু কিছু মৌলিক বিষয় বলে নেয়া হয়েছে। ধারা বিদ্যুতের (Current Electricity-র) কাজে কোষ (Cell), কোষের ভোল্টেজ, রোধের বাক্স (Resistance box), পরিবর্তনীয় রোধ (Rheostat), বর্তনী গঠন, বর্তনী করা বা ছেদ করার চাবি (Key), বর্তনী গঠনে বিভিন্ন অঙ্গের চিহ্ন ইত্যাদি সম্বন্ধে ছাত্রের মোটামুটি একটা কার্যকর জ্ঞানের দরকার। হয়ত ধারা বিদ্যুৎ পড়বার আগেই কোন কোন ছাত্রকে ধারা বিদ্যুৎ সংক্রান্ত পরীক্ষণ করতে হবে। এজন্য ঐ সব বিষয় সম্বন্ধে প্রয়োজনীয় কথাগুলি ধারা বিদ্যুৎ পরীক্ষণ আরম্ভ করবার আগেই সংক্ষেপে পরিষ্কার করে বলে নেয়া হয়েছে। সব শাখায়ই প্রয়োজন মত এ রকম কিছু কিছু কথা বলা আছে।

পরীক্ষণের কাজে 'মাপনের ত্রুটি' (Experimental error), এবং গৃহীত বা

গণনালব্ধ মানে 'সার্থক সংখ্যা' (Significant digits) কটি—এ সংক্রান্ত জ্ঞাতব্য বিষয়ে প্রথম থেকেই ছাত্রদের দৃষ্টি আকর্ষণ না করলে মাপজোখের কাজে তাদের নানারকম ভুল ধারণা থেকে যায়। এজন্য 'মাপনে ত্রুটি' ও 'সার্থক সংখ্যা'র প্রতি দৃষ্টি আকর্ষণ করতে 1-4, 5, 6 বিভাগ তিনটিতে একেবারে মৌলিক এবং খুব সহজ কয়েকটি কথা বলা হয়েছে। শিক্ষক মহাশয়কে অনুরোধ এদিকে তিনি যেন ছাত্রকে একটু দৃষ্টি দিতে বলেন। প্রথমেই তারা সব বুঝতে পারবে এ আশা কেউ করে না ; তবে এদিকে যেন তাদের দৃষ্টি থাকে। 'সার্থক সংখ্যা' সম্বন্ধে অজ্ঞতার একটি করুণ উদাহরণ দেয়া হল। কাচের প্রতিসরাংক বার করতে গিয়ে একটি পরীক্ষার্থী জ্যামিতিক অংকনে $\sin i/\sin r$-এর মান পেয়েছিল 19/13। দশমিকে ফল প্রকাশ করতে হবে বলে সে ভাগটি সাতঘর পর্যন্ত করে পরীক্ষককে জিজ্ঞাসা করেছিল আরও কত ঘর পর্যন্ত ভাগ করতে হবে। এই প্রশ্নে কারও হাসি পেলেও, বিষয়টি দুঃখের, কারণ ছাত্রকে মাপনে সার্থক সংখ্যার মূল্য বোঝাবার প্রয়োজনীয়তা আমাদের শিক্ষা-ব্যবস্থায় নেই। তার মাপনে মাত্র দুইটি সার্থক সংখ্য ; অতএব ভাগফলে দুটির বেশী সংখ্যা সার্থক হবে না, তৃতীয়টিই নিরর্থক, একথা তাকে বোঝাবার প্রয়োজনীয়তা পাঠ্যসূচীর নির্দেশে কোথাও ছিল না বলেই হয়ত কেউ তাকে এ বিষয়ে কিছু বলেন নি। কিন্তু এরকম মৌলিক ব্যাপারে পাঠ্যসূচীর আক্ষরিক অর্থ করা ঠিক নয়। না বলা থাকলেও প্রয়োজনীয় মৌলিক জ্ঞান ছাত্রকে দেয়া দরকার। নাহলে শিক্ষা অর্থহীন হয়।

গণিতে লগারিদ্‌ম্ পড়া হলে ফল গণনায় ছাত্রদের লগ্‌টেব্‌ল্ ব্যবহার করতে শিক্ষক উৎসাহিত করবেন, ভরসা করি। তবে অ্যান্টিলগে পাওয়া রাশি চারটির কয়টি পরীক্ষণে সার্থক বলে রাখা চলবে তা বুঝিয়ে বা অন্তত বলে দেয়া দরকার।

প্রত্যেক পরীক্ষণের শেষে পরীক্ষণসংক্রান্ত কিছু মৌখিক প্রশ্ন দেয়া আছে। পরীক্ষায় ছাত্রদের এ জাতীয় মৌখিক প্রশ্নের উত্তর দিতে হয়। তার জন্য কিছু প্রস্তুতি থাকা দরকার। প্রথম প্রথম অনেক ছাত্র বুঝতে পারে না উত্তর কি রকমের হবে। উত্তরের মালমসলা অধিকাংশ ক্ষেত্রে বইতে থাকলেও ছাত্রদের সুবিধার জন্য উত্তর প্রশ্নগুলির পরে দেয়া হয়েছে। কাজের অভিজ্ঞতা বাড়লে ছাত্র নিজেই উত্তর ঠিক করবার চেষ্টা করবে এবং সন্দেহ স্থলে মিলিয়ে নেবে। এইভাবে চললে তার চিন্তাশক্তি ও আত্মবিশ্বাস বাড়বে। পরে উত্তর সে নিজেই ঠিক করতে পারবে।

পরিভাষা (Technical terms) : পদার্থ-বিজ্ঞানের প্রামাণ্য কোন সম্পূর্ণ পরিভাষা আমাদের এখনও তৈরি হয় নি। এজন্য বিভিন্ন লেখকের লেখায় একই ইংরেজী শব্দের বিভিন্ন বাংলা পরিভাষা দেখা যায়। এই বইয়ে পরিভাষা প্রধানত দুটি সূত্র থেকে নেয়া হয়েছে—(১) ভারত সরকারের শিক্ষা মন্ত্রকের প্রকাশিত

'বিজ্ঞান শব্দাবলী' (Science Glossary) এবং (২) কলিকাতার সাহিত্য সংসদ প্রকাশিত 'সংসদ্ বাংলা অভিধান'-এর শেষে দেয়া 'পারিভাষিক শব্দাবলী'। 'চলন্তিকা'র বা কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের করা সকল পরিভাষাই এতে আছে। এই দুই সূত্র ছাড়া কোন কোন কথা সাধারণ আভিধানিক অর্থে ব্যবহার করা হয়েছে—যেমন, Calculation=হিসাব। প্রায় সব ক্ষেত্রেই, অন্তত প্রথমবার বাংলা পারিভাষিক শব্দের পাশে ইংরেজী শব্দটি দেয়া আছে। কোথাও কোথাও ইংরেজী শব্দটিই বাংলায় বহু-প্রচলিত বলে তা বাংলায় লিপ্যন্তরিত (transliterate) করে রাখা হয়েছে। যেমন ব্যাটারি (battery), স্ক্রু (Screw) ভোল্টেজ (voltage) ইত্যাদি।

তত্ভব, দেশজ ও বিদেশী শব্দের বানানে সংসদ বাংলা অভিধানের 'পরিশিষ্ট ক'-তে দেয়া 'বিশ্ববিদ্যালয়-প্রবর্তিত বাংলা বানানের নিয়ম' যথাসম্ভব অনুসরণ করা হয়েছে।

একক চিহ্ন (Symbols of Units): যে কারণে আমরা গণিতে আন্তর্জাতিক সংখ্যা 1, 2, 3 ইত্যাদি, রসায়নে মৌল চিহ্ন H, O_2, CO_2 ইত্যাদি গ্রহণ করেছি, সেই একই কারণে পদার্থ-বিজ্ঞানে আন্তর্জাতিক সুপারিশ অনুযায়ী একক চিহ্ন m (মিটার), cm (সেন্টিমিটার), g (গ্র্যাম), kg (কিলোগ্রাম), s (সেকেণ্ড) ইত্যাদিও ব্যবহার করা হয়েছে। সে মি,, মি মি ইত্যাদি ব্যবহার সঙ্গত নয় মনে করে ব্যবহার করা হয় নি।

প্রায় সকল বইয়েরই প্রথম সংস্করণে কিছু দোষ বা ত্রুটি থেকে যায়। এই বইয়ের কোন দোষ বা ত্রুটি কারও চোখে পড়লে তিনি অনুগ্রহ করে প্রকাশকের ঠিকানায় জানালে বাধিত হব। শিক্ষক মহাশয়দের অনুরোধ, বইখানা ছাত্রদের আরও উপযোগী করতে কোন পরিবর্তন বা পরিবর্ধন প্রয়োজন মনে করলে অনুগ্রহ করে জানাবেন।

জুলাই, ১৯৮৫

ডি. পি. আর
ডি. আর

THE COUNCIL OF HIGHER SECONDARY EDUCATIO N
[NEW SYLLABUS W1TH EFFECT FROM 1985]

PHYSICS PRACTICAL

Two experiments-one from each Group—A and Group—B are to be performed in the practical examination. Idea about eye-estimation (question will not be set).

Group—A

1. (a) To Determine the volume of a rectangular parallelopiped or a cylinder with the help of slide callipers.

(b) To Determine the cross-section of a given wire by using a screw-gauge.

(c) To Determine the thickness of a given glass plate by using a spherometer.

2. To Determine the volume of a given solid of irregular shape, heavier than and insoluble in water by hydro-static balance.

3. To Determine the specific gravity of a given solid of irregular shape, heavier than and insoluble in water by hydro-static balance.

4. To Determine the sp. gr. of a given liquid by the Hare's Apparatus.

5. To Determine the sp. gr. of a given liquid by the sp. gr. bottle.

6. To verify the laws of reflection of light by raytracing with pins. (At least three different rays are to be taken).

7. To show that in case of reflection on a plane mirror the object distance is equal to the image distance. (At least three different rays are to be taken and rays to be traced with pins).

8. To verify the laws of refraction of light. (At least three different rays are to be taken.)

9. To Determine the focal length of concave mirror by the method of coincidence.

10. To Determine the velocity of sound in air by resonance of air column by elimination of end correction (neglect correction due to moisture and temp.)

11. To Determine the frequency of a tuning fork by its resonance with air column, velocity of sound being supplied.

12. To locate the poles of a given bar magnet.

N. B. At least 10 experiments including expt. No. 1 are to be taught by the institutions.

Group—B

1. To Determine the sp. gr. of a body lighter than water (wax) by using hydro-static balance.

2. To Determine the sp. gr. of a granular solid insoluble in water with the help of a sp. gr. bottle.

3. To Draw L—T^2 curve by determining time periods with the help of a simple pendulum for a least five different lengths of oscillations and to calculate the value of g, the acceleration due to gravity.

4. To verify Boyle's law for a gaseous material using five different pressures—atmospheric pressure, 2 pressures below and 2 pressures above the atmospheric pressure—by showing pv as constant.

5. To verify Hooke's law by drawing load-elongation curve.

6. To Determine the sp. heat of a given solid by the method of mixture (Radiation loss is to be neglected.)

7. To Determine the focal length of a given convex lens by u—v method using pins or screen and a luminous object (At least five diff. object distances should be used.)

8. To Trace magnetic lines of force due to a bar magnet when its North pole is pointing north. To obtain the positions of the neutral points also.

9. To verify ohm's law using ammeter and voltmeter.

10. To verify the laws of combination of two resistances (a) in series and (b) in parallel by using a P.O. Box.

11. To Determine the value of an unknown resistance with the help of a metre bridge (Neglect end-correction.)

12. To Determine the value of the reduction factor of a single coil tangent galvano-meter by using a known current (measured by an ammeter) and hence to determine the value of a current corresponding to a given deflection of the galvanometer.

N. B. At least 10 experiments under Group-B are to be taught by the Institutions.

বিষয়সূচী

বিষয় | পাতা

প্রথম পরিচ্ছেদ

ব্যবহারিক পদার্থ-বিজ্ঞান

পরীক্ষাগারে কাজ সম্বন্ধে মৌলিক কটি বিষয়ের আলোচনা
(Discussion of some basic topics on Laboratory Work)

পরীক্ষাগারে (Laboratory-তে) প্রথম কাজ করতে এসে শিক্ষার্থীকে অনেক অসুবিধার সম্মুখীন হতে হয়। পরীক্ষণের (Experiment-এর) কাজ সংক্রান্ত কিছু মৌলিক বিষয় জানা না থাকাই এই অসুবিধাগুলির প্রধান কারণ। কাজ আরম্ভের আগে এই বিষয়গুলি তাকে শিখিয়ে দেয়া দরকার। এই ব্যাপারে বই কখনও শিক্ষকের স্থান গ্রহণ করতে পারে না। তবু বিষয়গুলি বইয়ে আলোচিত থাকলে ছাত্রের সুবিধে হয়। এ সংক্রান্ত কটি বিষয় যে ক্রমানুসারে আমরা আলোচনা করব, নিচে তাদের নাম দেয়া হল ঃ

(1) পরীক্ষণের জন্য প্রস্তুতি (Preparation for the experiment) ;
(2) পরীক্ষণের কাজ (Performing the experiment) ;
(3) পরীক্ষণের বিবরণী লেখা (Writing up the experiment) ;
(4) কোন মাপনে 'সার্থক সংখ্যা' (Significant digits) কটি সে সম্বন্ধে ধারণা ;
(5) মাপনের 'ত্রুটি' সম্বন্ধে ধারণা (An idea of 'errors' in a measurement) ;
(6) গ্রাফ আঁকা (Drawing of graphs)।

1-1. পরীক্ষণের জন্য প্রস্তুতি (Preparation for the experiment) ঃ কোন পরীক্ষণের জন্যে পরীক্ষাগারে আসবার আগে যে পরীক্ষণটি করতে হবে সে সম্বন্ধে যা জানবার, বই থেকে তা ভাল করে পড়ে দেখ। এর কোন বিষয় বুঝতে না পারলে কোন যোগ্য লোক বা ভারপ্রাপ্ত শিক্ষক মহাশয়কে জিজ্ঞাসা করে বুঝে নাও। পেনসিল, কলম, রবার (eraser), আলাদা একখানা খাতা ও স্বচ্ছ প্ল্যাস্টিকের একটি স্কেল সঙ্গে আনবে। জ্যামিতিক অংকনের বাক্স (Instrument box) সঙ্গে রাখা ভাল।

1-2. পরীক্ষণের কাজ (Performing the experiment) ঃ এ বিষয়টি নিপুণভাবে করার চেষ্টা করবে। বইয়ে কাজের নির্দেশ দেয়া আছে। তোমার যদি মনে হয় তুমি তার কোন অংশ অন্যভাবে ভাল করে করতে

পার, তবে আগে শিক্ষক মহাশয়ের সঙ্গে সে সম্বন্ধে আলোচনা করবে। যদি দুই বা দুইএর বেশী ছাত্রকে একসঙ্গে একই কাজ করতে হয়, তা হলে প্রত্যেকেই কাজে অংশ নেবে। কেউ দর্শক হয়ে থাকবে না। যন্ত্রে কোন পাঠ (reading) নিলে উপযুক্ত শিরনামা (heading) দিয়ে সঙ্গে সঙ্গেই তা খাতায় লিখে রাখবে। লেখার জন্য টুকরা কাগজ ব্যবহার করবে না। কাজ করতে গিয়ে কোন যন্ত্র ভেঙে গেলে তা শিক্ষক মহাশয়কে তখনই জানাবে। কাজ শেষ হলে যন্ত্রগুলি খুলে প্রথমে তাদের যে অবস্থায় পেয়েছিলে সেই অবস্থায় রেখে দেবে।

1-3. পরীক্ষণের বিবরণী লেখা (Writing up the experiment) ঃ বিবরণী লেখাকে পরীক্ষণের প্রয়োজনীয় অঙ্গ বলে ধরা হয়। ছাত্রেরা পরীক্ষণের বিবরণী কিভাবে লিখবে সে বিষয়ে সকল শিক্ষক বা পরীক্ষকের মত এক না হলেও বিবরণী লেখার একটা মোটামুটি ধরন আছে। বহুপ্রচলিত একটি ধরন নিচে দেখান হল। শিক্ষক মহাশয় এর কোন পরিবর্তন চান কিনা জেনে নেবে।

1. শিরনামা (Heading) ঃ পরীক্ষণের নাম প্রথমেই স্পষ্ট অক্ষরে একটু বড় বড় করে লিখবে, যেমন **বয়েল সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় করা।** খাতার কিনারায় (margin-এ) কাজ করার তারিখ লিখে রাখবে।

2. তত্ত্ব (Theory) : পরীক্ষায় কি তত্ত্বের প্রয়োগ হবে এবং যে পাঠগুলি নেয়া দরকার সেগুলি থেকে নির্ণেয় ফল কিভাবে পাওয়া যাবে তা লিখতে হবে।

3. যন্ত্রাদি (Apparatus) : যে সব যন্ত্র ও বস্তু পরীক্ষণে ব্যবহার করতে হবে তাদের সবগুলির নামের তালিকা দেবে।

[কেউ কেউ যন্ত্রের বর্ণনা দেয়াও দরকার মনে করেন। লেখক দুজনের মতে যন্ত্রের সঙ্গে ঘনিষ্ঠ পরিচয় অবশ্যই দরকার, কারণ তা না হলে করণীয় কাজটি করাই সম্ভব হবে না। কিন্তু বর্ণনা করতে হলে পরীক্ষণের জন্য নির্দিষ্ট সময় (বিশেষতঃ পরীক্ষার সময়) বর্ণনা লেখায় অযথা ব্যয় হবে এবং তাতে আসল কাজ করার সময় কমে যাবে। এটা কাম্য নয়। তবে ছাত্রের পরিচয়ের জন্য বইয়ে যন্ত্রের বর্ণনা থাকবে।]

4. যন্ত্র বা যন্ত্রাংশের ছবি (Diagram) ঃ যন্ত্র বর্ণনা করতে না হলেও যেখানে সম্ভব সেখানেই যান্ত্রিক ব্যবস্থা বোঝাবার জন্যে একটি রেখাচিত্র (Line diagram) আঁকবে। তাতে 'শেড' (shade) দিয়ে ত্রিমাত্রিক (three dimensional) আকার বা সজ্জা বোঝাতে হবে না। বইতে যে ধরনের ছবি দেখবে ঐ রকম হলেই হবে (যদিও বইয়ে বোঝাবার সুবিধার জন্যে 'শেড' দেয়া থাকতে পারে)। এর অর্থ এই নয় যে, যে ছবিগুলি বইতে আঁকা আছে তার প্রত্যেকটি তোমাকে আঁকতে

হবে। ছবি আঁকার অর্থ যান্ত্রিক ব্যবস্থা বুঝান। যেখানে না এঁকেই ব্যবস্থার বর্ণনা পরিষ্কার হয় সেখানে ছবির দরকার নাই। যেখানে ছবি আঁকতে হবে সেখানে বিভিন্ন যন্ত্রাংশ চিহ্নিত করে পাশে পাশে তাদের নাম লিখে দিলে বর্ণনা সহজ হবে। এরূপ নমুনা বইতে দেখতে পাবে।

বিদ্যুৎ সংক্রান্ত পরীক্ষায় বর্তনীর রেখাচিত্র (ciıcuit diagram) অবশ্যই আঁকতে হবে। সব ছবিই পেনসিলে আঁকবে, কালিতে নয়।

5. **কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)** ঃ কাজ কিভাবে করা হল তার বর্ণনা কাজের শেষে সংক্ষেপে লিখে দেয়া দরকার বলে অনেকেই মনে করেন। এই বর্ণনা 'করলাম', 'দিলাম', বা 'করা হল', 'দেয়া হল' এরকম ভাষায় লেখা হয়। এর নমুনা আমরা প্রত্যেক পরীক্ষণের সঙ্গেই দিয়েছি। পরীক্ষণে যে সব বিষয়ে বিশেষ সতর্কতার দরকার হয়, তাও লিখতে হয়।

কিন্তু কাজ আরম্ভ করবার আগে পরীক্ষা কিভাবে করতে হবে তা ছাত্রের জানা থাকা দরকার। এজন্য বইতে আমরা **পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)** শিরনামা দিয়ে তা 'যন্ত্রাদি' বা যন্ত্রের বর্ণনার পরেই লিখে দিয়েছি। শিক্ষক মহাশয় অন্য কোন নির্দেশ দিলে 'কার্যপ্রণালী বর্ণনা' লেখায় সেইরকম পরিবর্তন করতে হবে।

6. **নিরীক্ষা (Observations)** ঃ নির্দেশমত কাজ করতে আরম্ভ করে বিভিন্ন সময়ে একই বা বিভিন্ন যন্ত্রের পাঠ (reading) নিতে হবে। 'নিরীক্ষা' শিরনামার নিচে এগুলি পর পর যে ক্রমানুসারে নেয়া হয়েছে ঠিক সেই ক্রমে খাতায় লিখতে হবে। প্রত্যেকটি পাঠ কিসের তা পাঠের আগেই লেখা থাকবে। বইয়ের সব পরীক্ষণে 'নিরীক্ষা' লেখার ধরন আছে। (পাঠগুলি খাতায়ই লিখবে ; টুকরা কাগজে নয়।)

যেখানে সম্ভব, পাঠগুলি 'সারণি' (Table)-এর আকারে লিখবে। সম্ভাব্য সারণির ধরন বইয়ে দেখান আছে।

পাঠগুলি দশমিক পদ্ধতিতে লিখবে। পাঠে যন্ত্র বুঝে যে কয়টি 'সার্থকসংখ্যা' (Significant digit ; 1-4 ও 1-5 বিভাগ দেখ) রাখা উচিত সেই কয়টিই রাখবে। (এটা ঠিক মত করা প্রথমে কঠিন মনে হবে। মাপনে অভিজ্ঞতা বাড়লে ক্রমশ সহজ হয়ে আসবে। সন্দেহস্থলে শিক্ষক মহাশয়কে জিজ্ঞাসা করবে।)

কোন রাশির মান যে এককে (unit-এ) পাবে তা অবশ্যই মানের পরে লিখবে।

7. **হিসাব (Calculation) ও নির্ণেয় ফল (Result)** ঃ নিরীক্ষালব্ধ পাঠগুলি থেকে নির্ণেয় ফল কিভাবে পাওয়া গেল তার গণনা বা হিসাব এই শিরনামায় দেখাবে। যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ ইত্যাদি 'কাঁচা খাতা' (Rough Note Book)-ই হোক কি 'পাকা খাতা' (Fair Note Book)-ই হোক তার বাঁ

পৃষ্ঠায় পেনসিলে করবে। যদি 'লগ টেব্ল্' (Log table)-এর ব্যবহার জানা থাকে তবে গুণ ও ভাগ করতে তা ব্যবহার করবে। কিন্তু টেব্ল্ অনুসারে পাওয়া ফলে চারটি সার্থক সংখ্যা থাকবে কিনা (1-6 বিভাগ দেখ) বিচারে তা ঠিক করতে হবে।

কোন কোন ক্ষেত্রে 'নির্ণেয় ফল' বা 'সিদ্ধান্ত' (Conclusion) হিসাবের পর লিখে দেখাতে হবে।

8. কাঁচা খাতা ও পাকা খাতা (Rough Note Book and Fair Note Book) ঃ আমাদের দেশে প্রচলিত শিক্ষণ প্রথায় পরীক্ষণ সংক্রান্ত লেখার জন্য ছাত্রদের দুখানা খাতা রাখতে বলা হয়—একখানা 'কাঁচা' (Rough) ও অন্যখানা 'পাকা' (Fair)। পরীক্ষাগারে (Laboratory-তে) কাজ করতে আসার সময় তাকে 'কাঁচা খাতা' সঙ্গে আনতে বলা হয়। পরীক্ষণের শিরনামা, তারিখ ও তত্ত্ব তাতে লিখে আনা ভাল। ধারা-বিদ্যুৎ (Current Electricity) সংক্রান্ত কাজ হলে বর্তনী অবশ্যই বাঁ পাতায় এঁকে আনবে। নিরীক্ষালব্ধ ফলগুলি এই খাতায় আগের নির্দেশমত লিখবে। সময় পেলে পরীক্ষাগার (সংক্ষেপে অনেকে Lab বলে থাকেন) ছাড়বার আগে ফল গণনাও করবে।

পরের পরীক্ষণের আগেই বাড়ীতে বসে পাকা খাতায় আগে দেয়া নির্দেশমত লিখবে। লেখার ক্রম হবে—(i) পরীক্ষণের শিরনামা, (ii) তত্ত্ব, (iii) যন্ত্রাদি (দরকার হলে যন্ত্রের বর্ণনা ও যন্ত্রের ছবি), (iv) নিরীক্ষা (v) হিসাব, (vi) নির্ণেয় ফল বা সিদ্ধান্ত, (vii) কার্যপ্রণালী বর্ণনা, (viii) সতর্কতা।

1-4. পরীক্ষণের ত্রুটি (Experimental Error) ও মাপনে সার্থক সংখ্যা (Significant digits in a measurement) ঃ সকল মাপনেই কিছু 'ত্রুটি' (Error) থাকে। 'ত্রুটি' বলতে কারও কোন 'দোষ' বোঝায় না। তা গৃহীত মানের 'অনিশ্চয়তা'। কোন দৈর্ঘ্য মেপে তুমি যদি বল তা 16 cm, তখন বোঝায় এই মাপে মিলিমিটারের ঘরে কোন সংখ্যা আছে কি না তা তুমি দেখনি। তোমার স্কেলে অবশ্যই সেন্টিমিটার দাগ কাটা ছিল, মিলিমিটার দাগ হয়ত ছিল না। 'চোখের আন্দাজে' (Eye estimation-এ ; 2-1.2 বিভাগ) মিলিমিটার অংশ হয়ত তোমার 2 বলে মনে হয়েছে। সেক্ষেত্রে তুমি দৈর্ঘ্য 16·2 cm বলতে। স্কেলে মিলিমিটারের দাগও কাটা থাকলে ঐ দৈর্ঘ্যে মিলিমিটারের ভগ্নাংশ তোমার হয়ত 4 বলে মনে হত। সেক্ষেত্রে তুমি বলতে দৈর্ঘ্য 16·24 cm।

ওপরের উদাহরণ থেকে দেখলে প্রত্যেক ক্ষেত্রেই মাপের শেষ সংখ্যাটিতে কিছু অনিশ্চয়তা আছে, কারণ এর পরের থেকে সংখ্যা জানা নাই। মাপন সূক্ষ্ম থেকে সূক্ষ্মতর করলেও শেষ সংখ্যায় অনিশ্চয়তা থেকে যায়।

তোমার প্রথম উক্তিতে মাপে দুটি সার্থক সংখ্যা, **1 ও 6**। 6 সংখ্যাটিতে কিন্তু 'অনিশ্চয়তা' বা 'ত্রুটি' আছে, কারণ তার পরে দশমিক অংশে কি সংখ্যা আছে তা তুমি জান না। (পরের সংখ্যা 0 হলেও তা সত্য।) এরকম ক্ষেত্রে আমরা

ধরে নি 16 অর্থ 15·5 থেকে 16·5-এর মধ্যে কোন রাশি দৈর্ঘ্যের যথার্থ মান ; কিন্তু তা কত তা আমরা জানি না।

যখন বল দৈর্ঘ্য 16·2 cm তখন বোঝায় শেষ সংখ্যা 2-তে কিছু অনিশ্চয়তা আছে, কিন্তু তার মান জানা নাই। অতএব ধরা হয় যথার্থ মান 16·15 cm থেকে 16 25 cm-এর মধ্যে। দৈর্ঘ্য 16·2 cm বলায় তুমি দৈর্ঘ্য তিনটি সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত ব্যক্ত করেছ। শেষ সংখ্যাটি 2 না হয়ে 0 হলে বলতে দৈর্ঘ্য 16·0 cm ; তাতেও তিনটি সার্থক সংখ্যা। **সাধারণ গণিতে 16 এবং 16·0-তে প্রভেদ না থাকলেও মাপনে এদের অর্থ আলাদা।** প্রথমটিতে দুটি সার্থক সংখ্যা ; দ্বিতীয়টিতে তিনটি। 16·0 লেখায় তুমি বোঝাতে চাও মাপন তিনটি সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত করা হয়েছে, অর্থাৎ মাপন সূক্ষ্মতর।

দৈর্ঘ্য 16·24 cm (বা 16·20 cm) বললে সার্থক সংখ্যা হবে চারটি। এটা আরও সূক্ষ্মতর মাপন। কিন্তু তা হলেও শেষ সংখ্যায় অনিশ্চয়তা থেকে যাবে, কারণ পরের সংখ্যা জানা নাই।

এইভাবে যতই আগাও, অর্থাৎ সার্থক সংখ্যা যত বেশী হয়, তার শেষ সংখ্যাটিতে যত অল্পই হোক কিছু অনিশ্চয়তা থেকে যায়। সার্থক সংখ্যা বেশী অর্থে মাপন সূক্ষ্মতর এবং ফলে অনিশ্চয়তা বা 'ত্রুটি' (Error) কম।

মাপনে ত্রুটি নানা কারণে হয়। প্রাথমিক স্তরে আমরা এদের দু' শ্রেণীতে ভাগ করতে পারি—(i) স্থূল ত্রুটি (Gross error) এবং (ii) একমুখী ত্রুটি (Systematic error)।

(i) স্থূল ত্রুটি (Gross error) : কোন স্কেল পড়তে ভুল হলে, বা পাঠ লিখতে ভুল হলে যে ত্রুটি হয় তাই স্থূল ত্রুটি। ধর কোন দৈর্ঘ্য 32 cm ; তাকে তুমি 82 বা 42 পড়লে। এটা স্থূল ত্রুটি। 32 cm লিখতে তুমি ভুলে সংখ্যা বদল করে 23 cm লিখলে। একটি স্থূল ত্রুটি। আমরা সকলেই কোন না কোন সময়ে এরকম ভুল করতে পারি। ক্লান্ত থাকলে সাধারণত এরকম ভুল বেশী হয়।

স্থূল ত্রুটি দূর করার জন্য একাধিক ছাত্র এক সঙ্গে কাজ করলে, প্রত্যেকেই প্রত্যেক পাঠ স্বতন্ত্রভাবে নেবে। একা কাজ করলে পাঠ দু-তিন বার নেবে। যখন কোন পাঠ একাধিকবার নিতে হয়, তখন **আগের নেয়া পাঠ কখনও মনে রাখার চেষ্টা করবে না।** তাতে নূতন পাঠ আগের নেয়া পাঠই হবে এরকম মনে করার কারণ থাকবে, এবং আগের পাঠে ভুল থাকলে নূতন পাঠও ভুল হবে।

(ii) একমুখী ত্রুটি (Systematic error) : এরও একাধিক কারণ আছে। এ স্তরে তাদের দুটির কথা আমরা জেনে রাখতে পারি। এক হল **'যন্ত্রের ত্রুটি' (Instrumental error)**। ধর কোন কারণে স্কেলের শূন্য দাগের দিকে খানিকটা অংশ কাটা গেছে। এরকম স্কেলে পাঠ নিলে সে পাঠে ভুল থাকবে, এবং পাঠ আসল পাঠের চেয়ে সব সময় বেশী হবে, অর্থাৎ পাঠে ত্রুটি হবে 'একমুখী'। স্লাইড

ক্যালিপার্স (2-2 বিভাগ) বা স্ক্রু গেজে (2-3 বিভাগ) আপাত শূন্য যথার্থ শূন্য না হতে পারে। অ্যাম্মিটার বা ভোল্টমিটারের কাঁটা স্কেলের শূন্য দাগে না থাকতে পারে। এ সব ক্ষেত্রে পাঠের ত্রুটি সবগুলি একমুখী ত্রুটি—হয় সব সময় বেশীর দিকে, নয় সব সময় কমের দিকে। এগুলির শুদ্ধি (correction) সম্ভব।

তাছাড়া, বিভিন্ন লোকের নেয়া একই পাঠে একটু প্রভেদ থাকতে পারে, বিশেষ করে পাঠ যদি চোখের আন্দাজে নেয়া হয়। কোন যন্ত্রে দুই দাগ ঠিকমত মিলিয়ে রাখতে বা মিলিয়ে দেখতে দুজনে কিছু প্রভেদ হতে পারে। এ ধরনের ত্রুটিকে **'ব্যক্তিগত ত্রুটি'** (**Personal error**) বলে।

একাধিক ছাত্র একসঙ্গে কাজ করলে এই কারণে বিভিন্ন ছাত্রের পাঠে একটু একটু প্রভেদ থাকিতে পারে। এসব ক্ষেত্রে সবগুলি পাঠ লিখে তাদের গড় মান নিতে হয়। গড় মান নিতে পাঠে সার্থক সংখ্যার মান বাড়াবে না। ধর, একই দৈর্ঘ্য মাপতে বিভিন্ন ছাত্র মান পেল 24·6, 24·8, ও 24·5 cm। গণিতে এদের গড় মান হয় 24·633...। কিন্তু তুমি লিখবে 24·6 cm, কারণ তোমাদের পাঠে সার্থক সংখ্যা তিনটি। গড় মানে চতুর্থ সংখ্যাটি 5 বা বেশী হলে তৃতীয় সংখ্যাটি এক বাড়িয়ে দেবে।

1-5. বিভিন্ন মাপন যন্ত্রে পাঠের ত্রুটি (Error in reading instruments) ও শতকরা ত্রুটি (Percentage error) ঃ বিভিন্ন মাপন যন্ত্রে পাঠ নিতে পাঠের শেষ সার্থক সংখ্যায় কতটা ত্রুটি থাকতে পারে তার স্থূল একটা আভাস নিচে দেয়া হল।

যন্ত্র	পাঠের ত্রুটি*
মিটার স্কেল (মিলিমিটারে দাগ কাটা)	0·5 mm
স্লাইড ক্যালিপার্স (ভার্নিয়ার স্থিরাংক=0·1 mm)	0·05 mm
স্ক্রু-গেজ (অল্পতমাংক=0·01 mm)	0·01 mm
সাধারণ তুলা	0·02 g (গঠন বুঝে কম-বেশী হতে পারে)
থার্মমিটার (1°C দাগ কাটা)	0·2°C
স্টপক্লক (1 সেকেণ্ড দাগ কাটা)	0·5 সেকেণ্ড

শতকরা ত্রুটি (Percentage error) ঃ পরিমেয় রাশিটি দৈর্ঘ্য, ভর বা কাল,

*পাঠের ত্রুটি এখানে যা দেয়া হল, যন্ত্রের সুষ্ঠু ব্যবহারে ত্রুটি তার চেয়ে কম হতে পারে। দোষযুক্ত ব্যবহারে ত্রুটি আরও বেশী হতে পারে।

যাই হোক না কেন, তার মান যত বেশী হবে মাপনে শতকরা ত্রুটি তত কম হবে। ধর, কোন দৈর্ঘ্য 50 cm। মাপনের ত্রুটি 0·5 mm হলে এখানে

$$\text{মাপে শতকরা ত্রুটি} = \frac{\text{ত্রুটি}}{\text{মাপ}} \times 100 = \frac{0·5 \text{ mm}}{50 \text{ cm}} \times 100$$

$$= \frac{0·05 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} \times 100 = 0·1\%.$$

কিন্তু দৈর্ঘ্য যদি 5 cm হয় তবে ত্রুটি অনুরূপ হিসাবে হবে 1% (আগের দশগুণ)। **কাজেই পরিমেয় রাশিটি যতটা সম্ভব বড় রাখা ভাল।**

1-6. যোগ, বিয়োগ, গুণ ও ভাগে সার্থক সংখ্যা ঃ

1. বিভিন্ন সার্থক সংখ্যাবিশিষ্ট রাশির যোগফলে ও বিয়োগফলে কয়টি সংখ্যা সার্থক (=অর্থপূর্ণ). নিচের উদাহরণ দুটি হতে তা বুঝতে পারবে। সব ক্ষেত্রে অনিশ্চিত রাশিটি বাঁকা (*italic*) অক্ষরে দেখান হল—

(ক) যোগ

1·23*4*
0·003*2*
2·*5*
―――――
3·*7372*

(যোগফলে প্রথম দুটি সংখ্যা সার্থক, কারণ দ্বিতীয় সংখ্যাতেই অনিশ্চয়তা আছে। যোগফল 3·7 লেখা উচিত।)

(খ) বিয়োগ

156·*23* (পাঁচটি সার্থক সংখ্যা)
125·*7* (চারটি সার্থক সংখ্যা)
―――――
30·*53* (তিনটি সার্থক সংখ্যা)
(বিয়োগফল 30·5 লেখা উচিত।)

2. গুণ ও ভাগে সার্থক সংখ্যা।

(গ) গুণ

1·2*3* (তিনটি সার্থক সংখ্যা)
1·*2* (দুটি সার্থক সংখ্যা)
―――――
246
123
―――――
1·*476* (দুটি সার্থক সংখ্যা)

(ঘ) ভাগ

123·*5* ÷ 23·*4*
(চারটি সার্থক সংখ্যা) ÷ (তিনটি সার্থক সংখ্যা)

234) 1235 (5·27 (তিনটি সার্থক সংখ্যা)
1170
―――――
650
468
―――――
1820
1638
―――――
182

গুণ ও ভাগে দেখা যায় রাশিগুলিতে সবচেয়ে কম যে কয়টি সার্থক সংখ্যা, ফলেও তাই।

যোগ, বিয়োগ, গুণ ও ভাগ করতে ফলের সার্থক সংখ্যার শেষটির পরের সংখ্যা যদি 5 বা তার বেশী হয়, তবে শেষ সংখ্যাটিকে এক বাড়িয়ে ফল লিখবে। উদাহরণ—$25{\cdot}5 \times 2{\cdot}3 = 58{\cdot}65 = 59$ লিখবে। 5-এর কম হলে আগের সংখ্যা বদলাবে না। উদাহরণ—$24{\cdot}5 \times 2{\cdot}3 = 56{\cdot}35 = 56$ লিখবে।

যে সংখ্যায় কোন অনিশ্চয়তা আছে তার পরের সংখ্যা অর্থহীন ; মাপনের ক্ষেত্রে এর কোন মূল্য নাই।

1-7. গ্রাফ সম্বন্ধে নির্দেশ। কোন কোন ক্ষেত্রে পরীক্ষণের অঙ্গ হিসাবে বা ফল গণনায় গ্রাফ আঁকা দরকার হয়। গ্রাফ আঁকা দরকার হলে আঁকার কারণ, আঁকার উপায় এবং গ্রাফের ব্যবহার সম্বন্ধে নির্দেশ যথাস্থানে দেয়া হবে। গ্রাফ কি ধরনের হবে তাও সেখানে বলা হবে। সাধারণভাবে বলে রাখা যায় গ্রাফের অক্ষ দুটি নির্দেশ করে কোন্ অক্ষ কি রাশি বোঝায় এবং গ্রাফ কাগজের কয় ঘরে ঐ রাশির এক একক হয় তা লিখে দেবে। গ্রাফের বিন্দুগুলি পেনসিলে একটি (dot ; ·) বা ক্রস (cross ; ×) দিয়ে বোঝাবে। ডট হলে তা ঘিরে ছোট একটি গোল দাগ দেয়া ভাল। কয় ঘরে রাশির এক একক হবে তা এমনভাবে নেবে যাতে গ্রাফ কাগজখানার প্রায় সবটাই ব্যবহৃত হয়।

গ্রাফ সরলরেখা হলে স্বচ্ছ স্কেলের সাহায্যে রেখা এমনভাবে টানবে যে বেশীর ভাগ বিন্দু ঐ রেখায়ই পড়ে এবং যেগুলি পড়ে না সেগুলি যেন রেখার দুই পাশে যথাসম্ভব সমান দূরে থাকে।

গ্রাফ বাঁকা রেখা হলে একটি 'মসৃণ' রেখা দিয়ে বিন্দুগুলি যোগ করবে এবং এই রেখা এমনভাবে টানবে যাতে যেসব বিন্দু রেখার ওপরে পড়ে না, সেগুলি যেন রেখার দুই পাশে যথাসম্ভব সমান দূরে থাকে। 'মসৃণ' বক্র (smooth curve) বলতে এমন বাঁকা রেখা বোঝায় যার দুই অংশের মধ্যে হঠাৎ 'কোণ' উৎপন্ন হয়েছে বলে মনে না হয়।

গ্রাফের নিচে তার নাম লিখবে। লেন্সের ক্ষেত্রে লক্ষ্য দূরত্ব U এবং বিম্ব দূরত্ব V নিয়ে গ্রাফ আঁকলে নিচে নাম দিতে পারে 'U-V গ্রাফ'। গ্রাফ আঁকতে হলে তাতে অন্তত পাঁচটি জানা বিন্দু থাকা দরকার।

1-8. পরীক্ষণে সততা (Honesty in experiments) ঃ অনেক ক্ষেত্রে পরীক্ষণের ফল আগে হতেই জানা থাকে, যেমন অভিকর্ষীয় ত্বরণ g-এর মান, বয়েল সূত্রে PV গুণফলের স্থিরতা ইত্যাদি। এর কোনটিতে পরীক্ষণের সময় তুমি যে সকল পাঠ পেয়েছ, হয়ত দেখলে তা নিয়ে হিসাব করলে ফল জানা ফলের সঙ্গে মেলে না। তখন ফল মেলাবার একটা দুর্বলতা অনেকের মনে আসে এবং পাঠগুলিকে সেভাবে বদলান হয়। এটা অত্যন্ত গর্হিত কাজ, কারণ এতে

(1) তুমি নিজেকে ঠকালে, (2) শিক্ষককে ঠকালে, (3) শিক্ষার উদ্দেশ্য ব্যর্থ করলে এবং (4) আত্মবিশ্বাস কমালে। জানা ফল বার করতে তোমার ব্যবহৃত যন্ত্রের চেয়ে অনেক বেশী সূক্ষ্ম যন্ত্র ব্যবহার করা হয়েছিল এবং বহু, বহু বার অভিজ্ঞ কর্মী একই ফল মেপেছেন। গৃহীত প্রামাণ্য ফল (standard result) এরকম অনেক মাপনের গড় মান। কেউ কখনই আশা করতে পারে না যে স্থূল যন্ত্রে এক বার বা দু' বার মেপে তুমি প্রামাণ্য ফল (standard result) পাবে।

প্রত্যেক পাঠে ত্রুটি (error) থাকে এবং পরীক্ষণে বিভিন্ন রাশি মাপনের ত্রুটিগুলি যোগ হয়। যন্ত্রের স্থূলতার জন্য এবং অভিজ্ঞতার অভাবে প্রথম শিক্ষার্থীর পরীক্ষণে 1% বা 2%, এমনকি পরীক্ষণ বুঝ 5% ত্রুটিও থাকতে পারে। এতে বোঝায় আসল মান পরীক্ষালব্ধ আপাত মানের এই সীমার মধ্যে (±1%, ±2%, ±5%) আছে এবং তোমার মাপন অনুসারে এই সীমার মধ্যে যে কোন মান গ্রহণীয়। [ত্রুটি সংক্রান্ত এসব কথার অর্থ এখন সঠিক বুঝতে পারবে না। কিন্তু এজাতীয় যে একটা ব্যাপার আছে এখন সে বোধ হলেই যথেষ্ট। কাজের অভিজ্ঞতা বাড়লে কথাগুলির অর্থ ক্রমশ পরিষ্কার হবে।]

এই সব কারণে ঠকিয়ে ফল মেলালে তা অভিজ্ঞ শিক্ষক দেখেই বুঝতে পারবেন। পরীক্ষা বুঝে লব্ধ ফল আসল ফলে 1%—2% সীমার মধ্যে থাকলে বলতে হবে কাজ খুব ভাল হয়েছে। এজন্য ফল গণনায় প্রত্যেকটি পাঠে তিনটি করে সার্থক সংখ্যা থাকা দরকার। কোন রাশিতে তিনটি, কোন রাশিতে চারটি সার্থক সংখ্যা রাখায় ফলের সূক্ষ্মতা বাড়ে না (1-6 বিভাগের আলোচনা থেকে বুঝতে পারবে)।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ | সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান

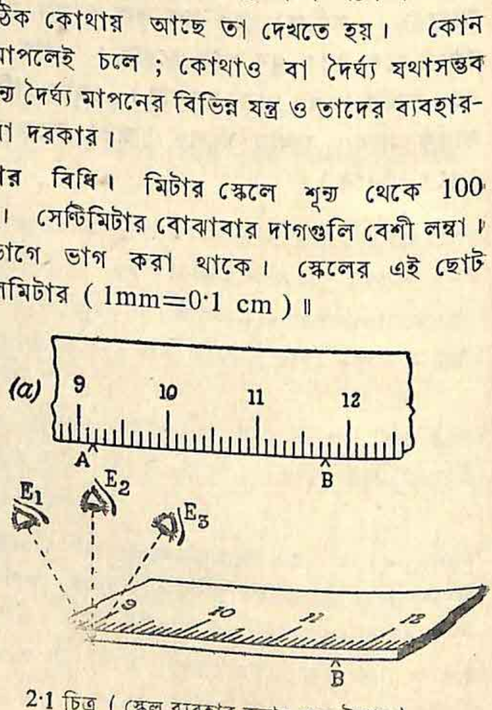
2-1. সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞানের পরীক্ষণগুলি সম্বন্ধে প্রারম্ভিক মন্তব্য

কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের সাধারণ ধর্ম সংক্রান্ত পরীক্ষণগুলি এই অংশে পড়ে। দেখা যাবে পরীক্ষণগুলিতে সাধারণতঃ আমাদের দৈর্ঘ্য, কাল (সময়ের ব্যবধান) বা ভর মাপতে হচ্ছে। এই সব মাপনে আমরা সি. জি. এস্ একক ব্যবহার করব।

সব ক্ষেত্রেই দেখা যাবে কোন না কোন স্কেলের সাহায্যে আমাদের পাঠ (reading) নিতে হচ্ছে। এ নানা অবস্থায় করতে হয়। কোথাও মিটার স্কেলের সাহায্যে দুটি দাগ বা দুই বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব দেখতে হয়। কোথাও যন্ত্রের কাঁটা বা সূচক (pointer) স্কেলের কোন দাগের সঙ্গে ঠিক মিলেছে কিনা, কিংবা দুই দাগের ফাঁকে ঠিক কোথায় আছে তা দেখতে হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য মোটামুটি মাপলেই চলে ; কোথাও বা দৈর্ঘ্য যথাসম্ভব সূক্ষ্মভাবে মাপা দরকার হয়। এজন্য দৈর্ঘ্য মাপনের বিভিন্ন যন্ত্র ও তাদের ব্যবহার-বিধি আমাদের আগেই জেনে নেয়া দরকার।

2-1.1 মিটার স্কেল ব্যবহার বিধি। মিটার স্কেলে শূন্য থেকে 100 সেন্টিমিটার পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। সেন্টিমিটার বোঝাবার দাগগুলি বেশী লম্বা। প্রত্যেক সেন্টিমিটার সমান দশভাগে ভাগ করা থাকে। স্কেলের এই ছোট ভাগগুলি প্রত্যেকটি এক এক মিলিমিটার (1mm=0·1 cm)।

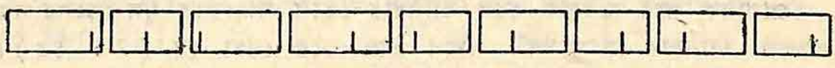
কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপতে স্কেলের দাগগুলি যথাসম্ভব তার কাছে রাখবে (2·1*a* চিত্র)। স্কেলের প্রান্ত নির্ণেয় দৈর্ঘ্যের কোন প্রান্তের সঙ্গে মিলিয়ে রেখো না, কারণ ব্যবহারে স্কেলের প্রান্ত অনেক সময় ক্ষয় হয়ে যায়। তাতে স্কেলের শূন্য দাগ অনিশ্চিত থাকে।



2·1 চিত্র (স্কেল ব্যবহার করার শুদ্ধ উপায়)

স্কেলের পাঠ নিতে স্কেলের অভিলম্বে তাকাবে। তা নাহলে পাঠে ভুল হবে (2·1*b* চিত্র)

2-.1.2. চোখের আন্দাজ (**Eye estimation**)। নির্ণেয় দৈর্ঘ্যের এক প্রান্ত যখন স্কেলের দুই দাগের মধ্যে পড়ে, তখন আমাদের প্রয়োজনীয় অংশ এক মিলিমিটারের (বা স্কেলের এক দাগের) কত ভগ্নাংশ তা চোখের আন্দাজে অনেকটা ঠিক করা যায়। আন্দাজে পাওয়া এই অংশ সঠিক না হলেও আসন্ন মান। বিভিন্ন লোকের কাছে একই অংশ ভাগের বিভিন্ন ভগ্নাংশ বলে মনে হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ (2·2*a*) ও (*b*) ছবির ভাগগুলিতে বাঁদিকের দাগ থেকে মাঝখানে ছোটদাগ পর্যন্ত দূরত্ব পুরা ভাগের (বাঁ ও ডানদিকের লম্বা দুই দাগের মধ্যের দূরত্বের) কত দশমিক অংশ তা তুমি নিজে দেখে ঠিক কর। পর পর দশমিকগুলি আলাদা কাগজে লিখে রাখ। সব কটি দেখা হলে ফল ছবির নিচে দেয়া ফলের সঙ্গে মিলিয়ে দেখ। তোমার বন্ধুকেও একই রকম করতে দাও। তোমাদের দুজনের ফল মিলল কিনা দেখ।



2·2 (*a*) চিত্র (চোখের আন্দাজে দুই দাগের দূরত্বের ভগ্নাংশ বোঝা)

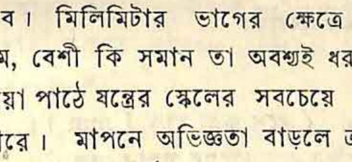
[ডান হতে বাঁ দিকে বিভিন্ন ছবিতে নির্ণেয় দূরত্ব যথাক্রমে পুরা ভাগের 0·8, 0·3, 0·7, 0·4, 0·2, 0·6, 0·1, 0·5 ও 0·9 অংশ]

স্কেলের ভাগগুলি আরও ছোট হলে ত্রুটি (error) বেশী হবার সম্ভাবনা (2·2*b* চিত্র)। মাঝের দাগটি (ধর, কোন যন্ত্রের কাঁটার মাথা) মোটা হলেও ত্রুটি বেশী হবে। মিলিমিটার ভাগের ক্ষেত্রে চোখের আন্দাজে ভগ্নাংশ 0·5 mm-এর কম, বেশী কি সমান তা অবশ্যই ধরা যাবে। বিভিন্ন যন্ত্রে চোখের আন্দাজে নেয়া পাঠে যন্ত্রের স্কেলের সবচেয়ে ছোট ভাগের অর্ধেক আন্দাজ ত্রুটি থাকতে পারে। মাপনে অভিজ্ঞতা বাড়লে ত্রুটির পরিমাণ কমে।



2·2 (*b*) চিত্র (অংশগুলি উপরের ছবির মত)

2-1.3. **ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier scale)**। মূল স্কেলের সবচেয়ে ছোট ভাগের (একে স্কেলের 'অল্পতমাংক' বা Least count বলা হয়) ভগ্নাংশ আরও সঠিকভাবে বার করার জন্য প্রয়োজনীয় ক্ষেত্রে **ভার্নিয়ার স্কেল** নামে একটি সহায়ক স্কেল (auxiliary scale) ব্যবহার করা হয়।



2·3 চিত্র (ভার্নিয়ার স্কেল)

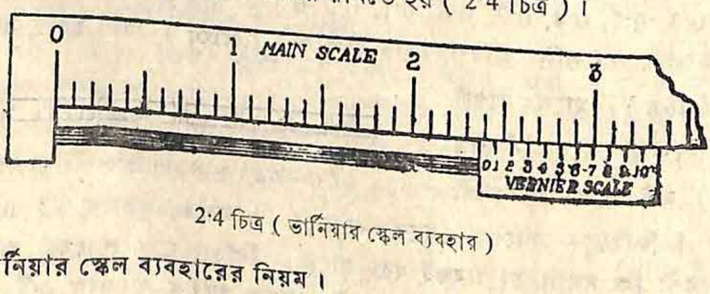
ভার্নিয়ার দু'রকমের হয়ঃ (1) সরল

ও (2) বৃত্তাকার। সরল ভার্নিয়ার দৈর্ঘ্য ও বৃত্তাকার ভার্নিয়ার কোণ মাপার জন্যে ব্যবহার করা হয়।

ভার্নিয়ার ব্যবহার করতে হলে প্রথমে ভার্নিয়ার স্থিরাংক (vernier constant) বা ভার্নিয়ারের অল্পতমাংক (least count of the vernier) নির্ণয় করতে হয়। এর মান একটি মূল স্কেলের ভাগ ও একটি ভার্নিয়ার ভাগের ব্যবধান। সাধারণত যদি n সংখক ভার্নিয়ার ভাগ থাকে, তবে তা ($n-1$) ভাগ মূল স্কেলের সাথে সমান হয়।

সুতরাং ভার্নিয়ার স্থিরাংক (v.c.)=একটি মূল স্কেল ভাগের মান—একটি ভার্নিয়ার স্কেল ভাগের মান, যেহেতু n ভার্নিয়ার ভাগ ($n-1$) মূল স্কেলের ভাগের সাথে সমান, সুতরাং একটি ভার্নিয়ার ভাগ $\frac{n-1}{n}$ মূল স্কেলের ভাগের সমান। সুতরাং v.c.=1 মূল স্কেল$-\frac{n-1}{n}$ মূল স্কেল$=\frac{1}{n}\times$মূল স্কেল।

প্রাথমিক স্তরে ব্যবহার্য সরল ভার্নিয়ার স্কেলে সাধারণত মূল স্কেলের নয় ভাগকে ভার্নিয়ার স্কেলে দশটি সমান ভাগ করে নেয়া হয় (2·3 চিত্র)। ভার্নিয়ার স্কেল মূল স্কেলের পাশ দিয়ে সরতে পারে। যে বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপতে হবে তার এক প্রান্ত মূল স্কেলের শূন্য দাগের সঙ্গে মিলিয়ে রেখে ভার্নিয়ার স্কেল সরিয়ে তার অন্য প্রান্তের সঙ্গে মিলিয়ে রাখতে হয় (2·4 চিত্র)।



2·4 চিত্র (ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহার)

ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহারের নিয়ম।

(১) মূল স্কেলের অল্পতমাংক দেখে নাও। (মনে করা যাক 1 mm)।

(২) মূল স্কেলের কত ভাগ ভার্নিয়ার স্কেলের কত ভাগের সমান দেখ।
(মনে কর, মূল স্কেলের 9 ভাগ=ভার্নিয়ারের 10 ভাগ)

(৩) মূল স্কেলের 1ভাগ—ভার্নিয়ার স্কেলের 1 ভাগ=মূল স্কেলের কত ভগ্নাংশ বের কর। এই ভগ্নাংশকে **ভার্নিয়ার স্থিরাংক (Vernier constant)** বলে। ওপরে যে মান ধরা হয়েছে তা থেকে পাই

মূল স্কেলের অল্পতমাংক=1 mm

ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ভাগ=মূল স্কেলের 9 ভাগ

অতএব „ „ 1 „ = „ „ 9/10 „ =0·9 mm

এবং ভার্নিয়ার স্থিরাংক $=1$ মূল স্কেল ভাগ -1 ভার্নিয়ার স্কেল ভাগ

$$=1 \text{ mm}-0.9 \text{ mm}=0.1 \text{ mm}=0.01 \text{ cm}$$

(৪) নির্ণেয় দৈর্ঘ্য পেতে হলে বস্তুটির (2·4 চিত্রের দণ্ডটির) এক প্রান্ত মূল স্কেলের শূন্য দাগের সঙ্গে মিলিয়ে রেখে ভার্নিয়ারের এক প্রান্ত বস্তুর অন্য প্রান্তে ঠেকাও।

(৫) এবার দেখ ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূল স্কেলের কত দাগ অতিক্রম করেছে। (2·4 চিত্রে তা 2·3)

(৬) বাকী দাগের অতিরিক্ত অংশ পেতে দেখ ভার্নিয়ারের কোন দাগ মূল স্কেলের কোন এক দাগের সঙ্গে ঠিক মিলেছে। (2·4 চিত্রে ভার্নিয়ারের 6 দাগ মিলেছে।)

(৭) এ থেকে পাই ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ তার আগের মূল স্কেলের দাগ থেকে 6 ভার্নিয়ার স্থিরাংক (অর্থাৎ $0.6 \text{ mm}=0.06 \text{ cm}$) এগিয়ে আছে। (অতএব 2·4 চিত্র অনুসারে পাই নির্ণেয় দৈর্ঘ্য $=2.3 \text{ cm}+0.06 \text{ cm}=2.36 \text{ cm}$)।

চোখের আন্দাজে একে তুমি কত বলতে ?

বৃত্তকার ভার্নিয়ার একটি মূল স্কেল বরাবর ঘুরতে পারে। মূল স্কেলটি ডিগ্রিতে দাগ কাটা থাকে। এই ভার্নিয়ারের সাহায্যে এক মিনিটের বৃত্তচাপ বা তার কমও মাপা যায়।

2-2. পরীক্ষণ 1 (a) [Experiment 1 (a)]

স্লাইড কালিপার্সের সাহায্যে আয়তঘনক বা চোঙের আয়তন নির্ণয়। (To determine the volume of a rectangular parallelopiped or a cylinder by Slide-callipers.)

তত্ত্ব (Theory) ঃ বস্তু যতখানি জায়গা জুড়ে থাকে, তাকে আয়তন বলে। যদি আয়তঘনকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধ যথাক্রমে l, b ও h হয়, তবে আয়তঘনকের আয়তন $=l\times b\times h$. স্লাইড কালিপার্সের সাহায্যে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ বা বেধের মান $=$ [মূল স্কেলের পাঠ $+$ ভার্নিয়ার পাঠ $\times$ ভার্নিয়ার স্থিরাংক] $\pm$ শূন্য ত্রুটি.

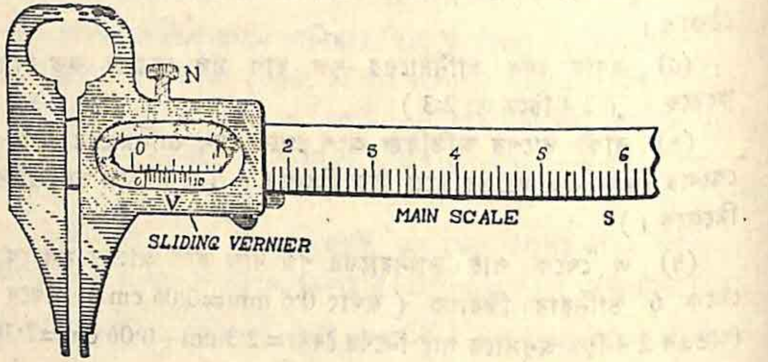
[যদি নিরেট চোঙের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস যথাক্রমে l ও d হয়, তবে চোঙের আয়তন $=\frac{1}{4}\pi d^2 l$

ফাঁপা চোঙের দৈর্ঘ্য, বাহিরের ব্যাস ও ভিতরের ব্যাস যথাক্রমে l, d_1 d_2 হলে ফাঁপা চোঙের আয়তন $=\frac{1}{4}\pi l\,(d_1{}^2-d_2{}^2)$.]

যন্ত্রাদি (apparatus) ঃ স্লাইড কালিপার্স, আয়তঘনক বা চোঙ।

[**স্লাইড কালিপার্সের বর্ণনা ও পরীক্ষণের নির্দেশ (Description of a slide callipers and directions for experiment) ঃ** 1 cm থেকে প্রায় 10 cm পর্যন্ত দৈর্ঘ্য ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে মাপতে স্লাইড ক্যালিপার্স নামে মাপন যন্ত্র

ব্যবহার করা যায়। এতে (2·5 চিত্র) মূল স্কেল S-এর ওপর দিয়ে ভার্নিয়ার স্কেল V সরে। N স্ক্রুর সাহায্যে ভার্নিয়ার স্কেল মূল স্কেলের যে কোন জায়গায় এঁটে রাখা যায়। যন্ত্রের ব্যবহার-বিধি নিচে বলা হল ঃ



2·5 চিত্র (স্লাইড ক্যালিপার্স)

(১) N ঢিলে করে যন্ত্রের দাড়াগুলি গায়ে গায়ে ঠেকাও। এই অবস্থায় S-এর শূন্য দাগ ও V-র শূন্য দাগ না মিললে যন্ত্রে 'শূন্যের ত্রুটি' (Zero error) আছে বলা হয়। ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূল স্কেলের শূন্য দাগের চেয়ে স্থির দাড়ার দিকে বেশী সরে থাকলে, যতটুকু সরে আছে তা যন্ত্রের আপাত পাঠের সঙ্গে যোগ করিতে হয়। V-র 0-দাগ S-এর 0-দাগ থেকে এর বিপরীত দিকে থাকলে দুই 0-দাগের তফাত আপাত পাঠ থেকে বিয়োগ করতে হয়।

(২) 2-1·3 বিভাগে বলা উপায়ে ভার্নিয়ার স্থিরাংক বার কর। 'শূন্যের ত্রুটি' থাকলে তার মান কত তাও দেখ এবং তা আপাত পাঠের সঙ্গে যোগ হবে কি তা থেকে বিয়োগ হবে, শূন্য-ত্রুটির পাশে তাও লিখে রাখ।

(৩) দাড়া দুটি সরিয়ে যে বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপতে হবে তা ঐ ফাঁকের মধ্যে রাখ। এর এক প্রান্ত স্থির দাড়ায় ও অন্য প্রান্ত V-র দাড়ায় ঠেকে থাকে, V-অংশ এই ভাবে সরিয়ে N স্ক্রু এঁটে দাও।

(৪) 2-1·3 বিভাগে বলা উপায়ে V-র শূন্য দাগের পাঠ নাও এবং ভার্নিয়ারের কোন্ দাগ মূল স্কেলের কোন্ দাগের সঙ্গে মিলে গেছে দেখ। এর সঙ্গে দরকার মত 'শূন্য ত্রুটি' যোগ বা বিয়োগ করলে নির্ণেয় দৈর্ঘ্য পাবে।]

নিরীক্ষা (Observations)

(i) ভার্নিয়ার স্থিরাংক ঃ

মূল স্কেলের প্রত্যেক ভাগের মান=··· mm

···ভাগ ভার্নিয়ার স্কেল=···মূল স্কেল

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাংক=1 মূল স্কেলের মান—1 ভার্নিয়ার স্কেলের মান= ···mm - ···mm=···mm=···cm.

শূন্য ত্রুটি (Z)=নাই, অথবা···cm (যোগ / বিয়োগ)
(যেটা দরকার তা রাখ)

(ii) দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধের (বা দৈর্ঘ্য ও ব্যাসের) পরিমাপ ঃ

মাত্রা	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেলের পাঠ cm. (a)	ভার্নিয়ার পাঠ (b)	ভার্নিয়ার পাঠের মান cm (b)×v.c. (c)	মোট পাঠ cm (a)×(c)	গড় পাঠ cm (m)	প্রকৃত মান cm (m±Z)
দৈর্ঘ্য	1.	4·8	7	7×·01=·07	4·87		
	2.						
	3.						
প্রস্থ	1.						
	2.						
	3.						
বেধ	1.						
	2.						
	3.						
ব্যাস	1. (a)	2·4	3.	3×·01=·03	2·43		
	(b)	2·4	4.	4×·01=·04	2·44		
	2. (a)						
	(b)						
	⋮ ইত্যাদি						

(চোঙের ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য ও ব্যাস পরিমাপ করতে হবে)

হিসাব (**Calculation**) ও ফল (**result**) ঃ

আয়তঘনকের আয়তন=$l\times b\times h=\cdots\times\cdots\times\cdots=\cdots cm^3$.

[নিরেট চোঙের আয়তন=$\frac{1}{4}\pi d^2 l=\frac{1}{4}\times 3{\cdot}14\times(\cdots)^2\times\cdots=\cdots cm^3$].

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (**Method followed**) ঃ

(1) যন্ত্রের শূন্য ত্রুটি নির্ণয় করা হল।

(2) ভার্নিয়ার স্থিরাংক নির্ণয় করা হল।

(3) দাড়া দু'টি সরিয়ে যার দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে হবে তা ঐ ফাঁকের মধ্যে রেখে মূল স্কেলের পাঠ ও ভার্নিয়ারের পাঠ নেয়া হল।
(4) বিভিন্ন জায়গায় দাড়া দু'টি ঠেকিয়ে পাঠগুলো লেখা হল। (চোঙের ক্ষেত্রে একই জায়গায় পরস্পর সমকোণে পাঠ নেওয়া হল।)
(5) বস্তুর আয়তন নির্ণয় করা হল।

সতর্কতা (**Precantion**)

(1) দাড়া খুব জোরে চাপ দিও না। জোরে চাপ দিলে যা পরিমাপ করবে তার মান কমে যাবে।
(2) ব্যাস পরিমাপের ক্ষেত্রে একই ব্যাসতলে পরস্পর সমকোণে দু'টি মাপ নেবে।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর ঃ

প্রঃ (1) ভার্নিয়ার ব্যবহার করা হয় কেন ?

উঃ ভার্নিয়ারের সাহায্যে খুব ছোট দৈর্ঘ্য, এমনকি মূল স্কেলের এক ভাগের কম দৈর্ঘ্যও খুব সূক্ষ্মভাবে পরিমাপ করা যায়।

প্রঃ (2) চোঙের ব্যাস পরিমাপে একই ব্যাসতলে পরস্পর সমকোণে দু'টি পাঠ নেয়া হয় কেন ?

উঃ প্রস্থচ্ছেদ অসম হলে ব্যাস পরিমাপের ত্রুটি দূর করার জন্য।

প্রঃ (3) চোঙের আয়তন নির্ণয়ে ব্যাস পরিমাপ খুব সূক্ষ্মভাবে করতে হয় কেন ?

উঃ চোঙের আয়তন সূত্রে ব্যাসের ঘাত দুই। তাই ব্যাস পরিমাপে অল্প ভুল হলে আয়তন নির্ণয়ে অনেকখানি ভুল হয়ে যায়।

2.3. পরীক্ষণ 1 (b) [Experiment 1 (b)]

স্ক্রু-গেজের সাহায্যে তারের প্রস্থচ্ছেদ নির্ণয়

(To determine tbe cross-section of a wire by Screw-gauge)

তত্ত্ব (Theory) ঃ তারের ব্যাস d হলে, প্রস্থচ্ছেদ হবে $\frac{1}{4}\pi d^2$. ব্যাসের মান=[রৈখিক স্কেলের মান+চক্রাকার স্কেলের পাঠ×অল্পতমাংক (least count)] ±শূন্যের ত্রুটি.

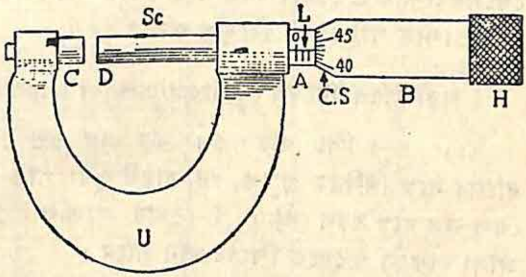
যন্ত্রাদি (**apparatus**) ঃ স্ক্রু-গেজ, তার।

স্ক্রু-গেজের বর্ণনা (**Description of Screw-gauge**)

2—3 cm দৈর্ঘ্য এর সাহায্যে মাপা যায় এবং মাপ 0·001 বা 0·002 cm পর্যন্ত পাওয়া যায়। যন্ত্রের প্রধান অংশ সুষম ভাবে থাক-কাটা একটি স্ক্রু। স্ক্রু পর পর দুই পেঁচের (thread-এর) মধ্যের দূরত্বকে এর 'পিচ' (**pitch**) বা 'থাক' বলে।

পুরা এক পাক ঘোরালে স্ক্রুর মাথা স্ক্রুর 'থাক' যতটা, ঠিক ততটা আগায় বা পিছায়।

যন্ত্রের গঠন 2·6 চিত্রে দেখান হয়েছে। U-আকারের এক খণ্ড ইস্পাতের এক বাহুতে একটি নল A লাগান। নলের ভিতরের দিক স্ক্রুর মত একই ভাবে থাক-কাটা। A নলের মধ্য দিয়ে স্ক্রু (Sc) আগাতে পিছোতে পারে। A-নলের গায়ে স্ক্রুর অক্ষের সমান্তরালে একটি রেখা (L) কাটা আছে। একে Reference line বা 'নির্দেশ অক্ষ' বলে। L-রেখার মিলিমিটার (কোন ক্ষেত্রে আধমিলিমিটার) স্কেল কাটা। একে বলে Linear scale বা 'রৈখিক স্কেল'।



2·6 চিত্র (স্ক্রু গেজ)

A নলের বাইরে একটি আলাদা নল (B) থাকে। B-র এক প্রান্ত ঢালু এবং ঐ ঢালু অংশে 50 বা 100 সমান মাপের বৃত্তাকার স্কেল কাটা। B নলের অন্য প্রান্ত স্ক্রুর সঙ্গে আটকান। B-র H প্রান্ত ঘোরালে স্ক্রু আগায় বা পিছোয় এবং বৃত্তাকার স্কেল C.S. রৈখিক স্কেল L বরাবর সরে।

স্ক্রু Sc-র D প্রান্ত L রেখার অভিলম্বে। স্ক্রু আগিয়ে দিতে থাকিলে D ক্রমে গিয়ে এর বিপরীতে U-র অন্য বাহুতে অনুরূপ সমান্তরাল তল C-তে ঠেকে। যন্ত্রে কোন ত্রুটি না থাকলে এই সময়ে বৃত্তাকার স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের 0-দাগের সঙ্গে মেলে। না মিললে যন্ত্রে 'শূন্য ত্রুটি' আছে। তা মাপতে হয়।

স্ক্রু 'থাক' যদি 1 mm হয় এবং বৃত্ত স্কেলে 100 ঘর থাকে, স্ক্রুকে বৃত্ত স্কেলের 1 ঘর ঘোরালে স্ক্রুর মাথা 1/100 mm সরবে। বৃত্ত স্কেলের এক ঘর ঘোরালে স্ক্রু যতটুকু আগায় বা পিছোয় তাকে যন্ত্রের **Least count** বা অল্পতমাংক বলে।

যন্ত্রের **Least count** বা অল্পতমাংক = স্ক্রুর পিচ বা থাক/বৃত্ত স্কেলে ঘরের সংখ্যা।

[পিচ = 1 mm ও বৃত্তস্কেলে 100 ঘর থাকলে অল্পতমাংক = 0·01 mm
= 0·001 cm ;
পিচ = 1 mm ও " 50 " " " = 0 02 mm
= 0·002 cm ;
পিচ = $\frac{1}{2}$ mm ও " 50 " " " = 0·01 mm
= 0·001 cm]

যন্ত্রের শূন্য ত্রুটি (Zero error)। এ সব সময়ই পরীক্ষা করে নিতে হয়। D-কে গায়ে আস্তে ঠেকাও। H-মাথা ঘোরাতে কখনও বেশী জোর দেবে না; এতে স্ক্রুর ক্ষতি হয় ও শূন্য ত্রুটি বাড়ে। C ও D গায় গায় ঠেকলে রৈখিক ও বৃত্ত স্কেলের দুই শূন্য দাগ যদি মিলে যায় তবে যন্ত্রে শূন্য ত্রুটি নাই। যদি বৃত্ত স্কেলের শূন্য দাগ এ সময়ে L রেখা ছাড়িয়ে চলে যায়, তবে কত ঘর সরল তা দেখ। এই হল শূন্য ত্রুটি এবং তা আপাত পাঠের সঙ্গে যোগ করতে হয়। C, D মিললে বৃত্ত স্কেলের 0 যদি L রেখায় এসে না পৌঁছায় তবে কত ঘর কম হল দেখ। এই শূন্য ত্রুটি আপাত পাঠ থেকে বিয়োগ করতে হয়।

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for experiment) ঃ**

(১) স্ক্রুর পিচ বার কর। এর জন্য বৃত্ত স্কেলের 0 দাগ L-রেখার কোন দাগের সঙ্গে মিলিয়ে স্ক্রুকে, ধর, চারটি পুরা পাক দিলে। এতে L রেখায় বৃত্ত স্কেল কত দাগ সরল দেখ। L-রেখার প্রত্যেক দাগের মান (1 mm বা 0·5 mm) জানা থাকলে এ থেকে পিচের মান পাবে।

পিচ=রৈখিক স্কেলে সরণ/পাক সংখ্যা।

(২) বৃত্ত স্কেলে কত ঘর দেখ (100 কি 50)।

(৩) যন্ত্রের অল্পতমাংক বার কর।

(৪) যন্ত্রের C, D তল গায় গায় আস্তে ঠেকাও। শূন্য ত্রুটি আছে কি না দেখ। থাকলে তা কত এবং আপাত পাঠের সঙ্গে যোগ কি বিয়োগ করতে হবে লিখে রাখ।

(৫) স্ক্রু উল্টা পাকে ঘুরিয়ে CD ফাঁক বড় কর। যে দৈর্ঘ্য বার করতে হবে (ধর, কোন তারের ব্যাস) তা CD ফাঁকে রেখে H ঘুরিয়ে বস্তুটিকে C ও D-র মধ্যে আস্তে চেপে রাখ।

(৬) রৈখিক স্কেলে কত দাগ অবধি দেখা যাচ্ছে তার পাঠ নাও। (ছবিতে 2)

(৭) বৃত্ত স্কেলে কি পাঠ পাওয়া যাচ্ছে দেখ। L-রেখার সঙ্গে বৃত্ত স্কেলের যে দাগ মিলে থাকবে তাই এই পাঠ (ছবিতে 43)।

(৮) পিচ ও অল্পতমাংক জানা আছে বলে (৬) ও (৭) যোগ করে আপাত পাঠ বের কর। এর সঙ্গে শূন্য ত্রুটি যোগ (বা বিয়োগ) কর। এই হবে নির্ণেয় পাঠ।]

নিরীক্ষা (Observations) ঃ

রৈখিক স্কেলের প্রত্যেক ঘরের মান=···mm

স্ক্রুর···(n) পাকে স্ক্রু রৈখিক স্কেলে···(l) ঘর সরে। এতএব

স্ক্রুর পিচ=···(n)/······(l)=······mm

বৃত্ত স্কেলে ঘরের সংখ্যা···(N) (100 বা 50)। অতএব

যন্ত্রের least count (অল্পতমাংক)=পিচ/N= ···mm

শূন্য ত্রুটি=0 বা···mm (যোগ করতে হবে) বা···mm (বিয়োগ করতে হবে)।

[(a) ও (b) একই ব্যাস তলে পরস্পর সমকোণে পাঠ]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেলের পাঠ (mm) (L)	চক্রাকার স্কেলের পাঠ (C)	চক্রাকার স্কেল পাঠের মান (mm) (C)×L.C (V)	আপাত ব্যাস (mm) (L)+(V)	গড় আপাত ব্যাস (mm) d'	প্রকৃত ব্যাস $d=d' \pm Z$
1. (a)	1·0	43	$43\times{\cdot}01={\cdot}43$	1·43		
(b)	1·0	45	$45\times{\cdot}01={\cdot}45$	1·45		
2. (a)						
(b)						
⋮ ইত্যাদি						

হিসাব (Calculation) ও ফল (result) ঃ তারের ব্যাস=···mm=···cm

তারের প্রস্থচ্ছেদ$=\frac{1}{4}\pi d^2=\frac{1}{4}\times 3{\cdot}14\times(\cdots\text{cm})^2=\cdots\text{cm}^2$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) রৈখিক স্কেলের মান, স্ক্রুর পিচ, যন্ত্রের অল্পতমাংক ও শূন্য ত্রুটি আগে নির্ণয় করলাম।

(২) তার গাছার ব্যাসের দিক যন্ত্রের C ও D তলের মধ্যে আস্তে চেপে রৈখিক ও বৃত্ত স্কেলের পাঠ কত তা লিখে রাখলাম।

(৩) তার গাছার যে জায়গায় ব্যাসের মাপ নিয়েছি তার আড়াআড়ি দিকে ব্যাসের মাপ নিলাম।

(৪) তারের বিভিন্ন জায়গায় (১) ও (২) এর মত ব্যাস মাপলাম। এদের গড় মান নিলাম।

(৫) শূন্যের ত্রুটি সংশোধন করে প্রকৃত ব্যাস নির্ণয় করলাম।

সতর্কতা (Precaution) ঃ

(১) স্ক্রু কখনই জোরে চাপ দেয়া উচিত নয়। এতে স্ক্রু নষ্ট হয় ও শূন্যের ত্রুটি বাড়ে।

(২) একই ব্যাসতলে পরস্পর সমকোণ দু'টি পাঠ নেয়া উচিত।

(৩) অন্ততঃপক্ষে পাঁচটি বিভিন্ন জায়গায় ব্যাস পরিমাপ করা প্রয়োজন। ব্যাস

নির্ণয়ে অল্প ভূল হলে প্রস্থচ্ছেদ পরিমাপে অনেক ভূল হবে, কারণ প্রস্থচ্ছেদ সূত্রে ব্যাসের ঘাত দুই।

মন্তব্য ঃ ব্যাক-ল্যাস ত্রুটি (Back-lash error) ঃ

স্ক্রুর পেঁচের আকার ও মাপ অনুযায়ী নাটের ভিতর পেঁচ কাটা থাকে। কিছুদিন ব্যবহার করার পর স্ক্রু ও নাটের পেঁচ ক্ষয়ে যায়। তখন স্ক্রু ও নাট আলগা হয়ে যায়। এরজন্য স্ক্রু কিছুটা ঘোরার পর তবে উল্টোদিকে ঘোরে। সুতরাং রৈখিক ও বৃত্তস্কেলের মধ্যে তফাত থেকে যায়। এই ত্রুটিকে ব্যাকলাস ত্রুটি বলে। নতুন যন্ত্রে এই ত্রুটি কম থাকে। যন্ত্র যত পুরানো হয় এই ত্রুটিও তত বাড়তে থাকে। তাই যে কোন স্ক্রু-যন্ত্র ব্যবহারে এই ত্রুটি এড়াতে হলে ব্যাক-ল্যাস ত্রুটি যতখানি তারচেয়ে বেশী ঘুরিয়ে নিয়ে তবে উল্টোদিকে স্ক্রু ঘোরান উচিত।

মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর

প্রঃ 1. তোমাকে দু'টি স্ক্রু গেজ দেওয়া হল। একটির অল্পতমাংক 0·01 mm ও অপরটির 0·005 mm. কোনটি তুমি ব্যবহার করবে?

উঃ দ্বিতীয়টি। কারণ দ্বিতীয়টি দিয়ে তুমি 0·005 mm অবধি দৈর্ঘ্য মাপতে পারবে।

প্রঃ 2. তারের ব্যাস মাপতে একই ব্যাসতলে পরস্পর সমকোণে দুটি পাঠ নিতে হয় কেন?

উঃ 1 (a) পরীক্ষণের প্রশ্ন ও উত্তর দেখ।

প্রঃ 3. তারের প্রস্থচ্ছেদ নির্ণয়ে ব্যাস পরিমাপ খুব সুক্ষভাবে করতে হয় কেন?

উঃ 1 (a) পরীক্ষণের প্রশ্ন ও উত্তর দেখ।

প্রঃ 4 ব্যাক-ল্যাস ত্রুটি বলতে কি বোঝ?

উঃ এই পরীক্ষণের মন্তব্য দেখ।

2-4.1. পরীক্ষণ 1 (c) [Experiment 1 (c)]

স্ফেরোমিটারের সাহায্যে কাচ পাতের বেধ নির্ণয় (**To determine the thickness of a given glass plate by Spherometer**)

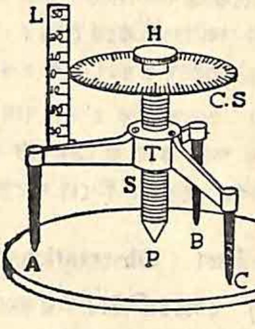
তত্ত্ব (Theory) ঃ পরীক্ষণীয় পাতটি কোন সমতল কাচ ফলকের ওপর বসান থাকলে, পাতটি বেধ হবে পরীক্ষণীয় পাতের পাঠ এবং কাচ ফলকের পাঠের অন্তর, যখন স্ক্রুর সরু মাথা ঠিক দুই পাতকে স্পর্শ করে। পরীক্ষণীয় পাতের পাঠ বা কাচ ফলকের পাঠ = রৈখিক স্কেলের পাঠ + চক্রাকার স্কেলের পাঠ × অল্পতমাংক।

যন্ত্রাদি (apparatus) ঃ স্ফেরোমিটার, কাচের টুকরা, কাচ ফলক।

স্ফেরোমিটারের বর্ণনা (Description of a Spherometer) ঃ

এই যন্ত্রের মূল উদ্দেশ্য কোন পাতের বেধ বা বক্রতলের (যেমন উত্তল বা অবতল আয়না বা লেনসের পিঠের) বক্রতা ব্যাসার্ধ (radius of curvature) মাপা। এর ক্রিয়া স্ক্রু গেজের স্ক্রুর মত।

যন্ত্রের গঠন। যন্ত্রের গঠণ 2·7 চিত্রে দেখান হয়েছে। এতে ছুঁচাল তিনটি এক মাপের পায়া A, B, C-র মাথায় তিনটি একরকম বাহু লাগান। বাহু তিনটিন জোড়া অংশের মাঝখান T মোটা নলের মত। A, B, C মাথা তিনটি সমবাহু ত্রিভুজের তিন কোনা। T-র ভিতরে সরু পেঁচ কাটা। এই পেঁচের ভিতর দিয়ে সুষম থাকের একটি স্ক্রু S ওঠানামা করতে পারে। S-এর নিচের মাথা P ছুঁচাল। এর ওপরের মাথায় গোল একখানা চাকতি লাগান। চাকতির পরিধিতে 50 বা 100 সমান ঘরের বৃত্ত স্কেল কাটা। একেবারে ওপরের H মুণ্ড ঘোরালে S স্ক্রু ওঠে বা নামে। বৃত্ত স্কেলের গা ঘেঁষে খাড়া একটি রৈখিক স্কেল L আছে। এই স্কেল সাধারণত মিলিমিটারে দাগ কাটা। স্ক্রুর অক্ষ ABC ত্রিভুজের কেন্দ্র দিয়ে যায়। (যন্ত্রের স্ক্রু, রৈখিক ও বৃত্ত স্কেল স্ক্রু গেজের একই রকম অংশের সঙ্গে তুলনা করে দেখ।) H ঘোরালে বৃত্ত স্কেল রৈখিক স্কেল বরাবর ওঠে বা নামে। বৃত্ত স্কেল ঘোরালে রৈখিক স্কেল কত পাক ঘুরল তা রৈখিক স্কেল থেকে জানা যায়।



2·7 চিত্র (স্ফেরোমিটার)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) ঃ

(১) রৈখিক স্কেলের প্রতেক ঘরের মান কত দেখে নাও। (সাধারণত 1 mm, কোন ক্ষেত্রে 0·5 mm হবে।)

(২) বৃত্ত স্কেলের 0-দাগ রৈখিক স্কেলের কোন দাগের সঙ্গে মিলিয়ে বৃত্ত স্কেল পুরো চার পাক ঘুরিয়ে দেখ চাকতি রৈখিক স্কেলে কত ঘর সরেছে। এ থেকে স্ক্রুর পিচ পাবে।

(৩) বৃত্ত স্কেলে কত ঘর আছে দেখ। পিচকে এই সংখ্যা দিয়ে ভাগ করে যন্ত্রের Least count (অল্পতমাংক) বার কর।

(৪) স্ক্রুর P একটু ওপরে তুলে যন্ত্রের পায়া তিনটি সমতল একখানা কাচের পাতের ওপর রাখ। এবার স্ক্রু ঘুরিয়ে আস্তে আস্তে এর সরু মাথা P নামাও। মাথা কখন কাচের পাত স্পর্শ করল সেই অবস্থান বার কর। (কাচের পাতের প্রায় সমতলে তাকালে স্ক্রুর মাথা P ও সমতল পাতে তার বিম্ব দেখা যায়। P যত পাতের দিকে আগায় এর বিম্বও তত P-র কাছে আসে। P ও এর বিম্ব যখন পরস্পর স্পর্শ করে, তখনই P পাতে সদ্য ঠেকেছে। এই অবস্থানই চাই। স্ক্রু এই অবস্থান অতিক্রম করে গেলে যন্ত্র একটু নাড়লেই ঠকঠক করবে।)

(৫) P এবং A, B, C কাচ পাতের সমতলে থাকলে রৈখিক স্কেল ও বৃত্ত স্কেলের পাঠ কত হয় লিখে রাখ। এই পাঠই যন্ত্রের প্রাথমিক অবস্থান।

(৬) যে পাতের বেধ মাপতে হবে তা সমতল পাতের ওপর রাখ। এবার স্ক্রু ঘুরিয়ে P ওপর দিকে তুলে রাখ। স্ফেরোমিটার সমতল পাতের ওপর এমন ভাবে রাখ যাতে P-র নিচে পরীক্ষণীয় কাচের পাতটি থাকে। আবার স্ক্রু ঘুরিয়ে P কখন ঐ তল স্পর্শ করে দেখ। এই অবস্থায় রৈখিক ও বৃত্ত স্কেলের পাঠ নাও। দুই পাঠে প্রভেদ t ধরা যাক।

(৭) অন্ততপক্ষে ছ'জায়গায় আগের পদ্ধতির মত পাঠ নাও। তিনবার পাতের একদিক স্পর্শ করে ও তিনবার পাতটি উল্টো করে পাঠ নিতে হবে। প্রত্যেকবার বেধ নির্ণয় করে গড় নিলে পাতের গড় বেধ পাবে।]

নিরীক্ষা (Observations) ঃ

(i) স্ফেরোমিটার অল্পতমাংক নির্ণয় ঃ—

রৈখিক স্কেলের এক ভাগের মান=…mm। পুরা…(n) পাক বৃত্তাকার স্কেল ঘোরালে রৈখিক স্কেল…(l) ঘর সরে।

সুতরাং স্ক্রুর পিচ=…(l)/…(n)=…mm=…cm.

বৃত্ত স্কেলে মোট ঘর=…(N)

∴ অল্পতমাংক (least count) $=\frac{\text{পিচ}}{N}=\cdots$mm$=\cdots$cm

(ii) কাচ পাতের বেধ নির্ণয় ঃ

পরীক্ষণীয় পাতের দিক	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্কেলের পাঠ যখন স্ক্রু স্পর্শ করে						পাতের বেধ	পাতের গড় বেধ (t)
		পরীক্ষণীয় পাত			সমতল পাত				
		রৈখিক স্কেল mm	বৃত্ত স্কেল mm	মোট (h_2) mm	রৈখিক স্কেল mm	বৃত্ত স্কেল mm	মোট (h_1) mm	$h_2 \sim h_1$ mm	mm
একদিক	1.								
	2.								
	3.								
অপরদিক	1.								
	2.								
	3.								

ফল (Result) ঃ সুতরাং কাচ পাতের বেধ=…mm=…cm.

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(i) প্রথমে পিচ ও অল্পতমাংক বের করা হল।

(ii) স্ফেরোমিটারটি একটি সমতল কাচ ফলকের ওপর এমনভাবে বসান হল যাতে পায়া তিনটি ফলকের ওপর থাকে। স্ক্রু ঘুরিয়ে ওপরে তোলা হল এবং পরীক্ষণীয় পাতটি স্ক্রুর ছুঁচাল মাথার নিচে রাখা হল। স্ক্রুকে আস্তে আস্তে নীচে নামিয়ে পরীক্ষণীয় পাতে ঠিক স্পর্শ করা হল।

(iii) এই অবস্থায় রৈখিক ও বৃত্ত স্কেলের পাঠ নেয়া হল।

(iv) পরীক্ষণীয় পাতটি স্ক্রুর তলা থেকে বের করে আনা হল। এবং স্ক্রুর ছুঁচালো প্রান্ত ফলকে ঠিক স্পর্শ করা হল।

(v) এই অবস্থায় রৈখিক ও বৃত্ত স্কেলের পাঠ নেয়া হল।

(vi) ওপরের প্রক্রিয়ার পুনরাবৃত্তি করে আরও দু'টি পাঠ নেয়া হল।

(vii) এবার পাতটিকে উল্টো করে বসান হল এবং এই অবস্থায়, আর তিনবার পাঠ নেয়া হল।

(viii) প্রত্যেক ক্ষেত্রে পাতের বেধ নির্ণয় করে গড় বেধ নির্ণয় করা হল।

2-4. 2. স্ফেরোমিটার ব্যবহারের বিকল্প উপায় (An alterative method of use of spherometer.)

স্ফেরোমিটার অনেকদিন ব্যবহার করতে করতে স্ক্রু ও পেঁচ পরস্পর ঢিলে হয়ে যায়। তখন বৃত্ত সমান সংখ্যক পাক ঘোরালেও বিভিন্ন সময় বিভিন্ন রকম পাঠ পাওয়া যায় ও পাঠে ভুল হয়। পাঠে এই ত্রুটি দূর করতে বিকল্প পদ্ধতি নিচে দেয়া হল।

তত্ত্ব (Theory) ঃ পরীক্ষণীয় পাত স্ক্রুর ছুঁচাল প্রান্ত স্পর্শ করার পর সমতল ফলক স্পর্শ করতে যদি বৃত্ত স্কেল R সম্পূর্ণ পাক ঘুরেও A সংখ্যক বৃত্তের ঘর যায় তবে পাতের বেধ

$t = R \times N + A \times$ অল্পতমাংক ;

এখানে N হচ্ছে বৃত্ত স্কেলের মোট ঘর সংখ্যা।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for experiment)] ঃ (১) থেকে (৪) আগের পরীক্ষণের মত।

(v) এই অবস্থায় শুধু বৃত্ত স্কেলের পাঠ নাও।

(vi) পরীক্ষণীয় পাতটি স্ক্রু-র তলা থেকে সরিয়ে নাও। স্ক্রু ঘুরিয়ে সমতল ফলক ঠিক স্পর্শ করে বৃত্ত স্কেল পাঠ নাও। সঙ্গে সঙ্গে এও লক্ষ্য রাখ বৃত্ত স্কেল কতবার সম্পূর্ণ ঘুরলো।

(vii) আগের পরীক্ষণের মত।

(viii) স্ক্রু ঘুরিয়ে নিচে নামানোর সময় লক্ষ্য রাখ বৃত্ত স্কেলের পাঠ কমছে

না বাড়ছে। প্রথম পাঠে তীর চিহ্ন দিয়ে তা বোঝাও। যদি বাড়ে তবে ডানদিকে, কমলে বাঁদিকে তীর চিহ্ন দেবে।]

নিরীক্ষা (Observation) ঃ (i) স্ফেরোমিটারের অল্পতমাংক নির্ণয় ঃ আগের পরীক্ষণের মত।

(ii) কাচ পাতের বেধ নির্ণয় ঃ

কাচ পাতের দিক	পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	বৃত্তস্কেলের পাঠ যখন স্ক্রু ঠিক পাতকে স্পর্শ করে (I)→	যখন স্ক্রু কাচফলককে স্পর্শ করে: বৃত্তস্কেল যত পাক পুরা ঘোরে (R)	যখন স্ক্রু কাচফলককে স্পর্শ করে: বৃত্ত স্কেলের পাঠ (F)	বৃত্তস্কেল পুরা ঘোরার পর যত ঘর যায় (n)* $n=(F-I)$; যখন $F>I$ $n=[N-(I-F)]$; যখন $F<I$	মোট বৃত্তস্কেল পাঠ $T=R\times N+n$	পাতের বেধ $t=T\times$ অল্পতমাংক *mm*
একদিক	1.	48	2	50	2	$2\times100+2=202$	
	2.	49	1	1	$100-(49-48)=99$	$1\times100+99=199$	
	3.						
অপরদিক	1.						
	2.						
	3.						

*যদি বৃত্তস্কেল পাঠ কমে তবে $n=[N-(I-F\ ]$ যখন $F>I$; এবং $n=(F-I)$ যখন $F<I$. তীর চিহ্ন বাঁদিকে দেবে।

ফল (Result) ঃ কাচ পাতের গড় বেধ$=\cdots mm=\cdots cm.$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(i) এবং (ii) আগের পরীক্ষণের মত।

(iii) এই অবস্থায় বৃত্তস্কেলের পাঠ নেয়া হল।

(iv) আগের পরীক্ষণের মত।

(v) বৃত্ত স্কেল কত পাক পুরা ঘুরলো এবং বৃত্তস্কেলের পাঠ নেয়া হল।

(vi), (vii) ও (viii) আগের পরীক্ষণের মত।

সতর্কতা (Precautions) ঃ (i) স্ক্রু ঠিক যখন পাত ও ফলক স্পর্শ করবে ঠিক তখন পাঠ নিতে হবে।

(ii) ব্যাক-ল্যাস ত্রুটি এড়িয়ে পাঠ নিতে হবে। (আগের পরীক্ষণের মন্তব্য দেখ।)

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর ঃ

প্রঃ 1. ব্যাক-ল্যাস ত্রুটি কাকে বলে ?

উঃ আগের পরীক্ষণের মন্তব্য দেখ।

প্রঃ 2. স্ক্রু গেজে শূন্য ত্রুটি দেখতে হয় কিন্তু স্ফেরোমিটারে দেখতে হয় না কেন ?

উঃ স্ফেরোমিটারে পাতের বেধ মাপতে দু'টি পাঠের ব্যবধান নেয়া হয়। সেই কারণে যদি কোন ত্রুটি থাকে তবে তা বাদ হয়ে যায়।

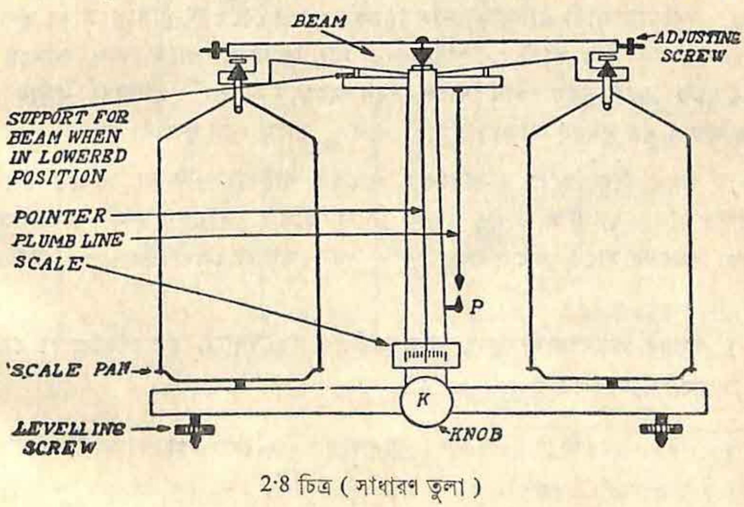
প্রঃ 3. এই যন্ত্রকে স্ফেরোমিটার বলা হয় কেন ?

উঃ এই যন্ত্র দিয়ে বক্রতলের ব্যাসার্ধ মাপা হয় বলে এই যন্ত্রকে স্ফেরোমিটার বলে।

2·5 সাধারণ তুলা (common balance)। সাধারণ তুলা (common balance)-কে 'দণ্ড তুলা' (Beam balance)-ও বলে। এর সাহায্যে কোন বস্তুর ভর (mass) বা ওজন (weight) জানা ভর বা ওজনের সঙ্গে তুলনা করে পাওয়া যায়। ভর গ্র্যামে (gram ; চিহ্ন g) এবং ওজন গ্র্যাম-ভরে (gram-weight ; চিহ্ন g-wt) প্রকাশ করা হবে। 'ভর' বলতে কোন বস্তুতে পদার্থের পরিমাণ বোঝায়। 'ভার' বা 'ওজন' বলতে বস্তুটিকে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করে তা বোঝায়।

যেখানে আলোচ্য রাশিটি ভার (ওজন) বলে স্পষ্ট বোঝা যায় সেখানে বার বার g-wt না লিখে অনেকে কেবল g লেখেন। সূক্ষ্ম বিচারে এভাবে লেখায় অসঙ্গতি আছে ঠিকই ; কিন্তু এটা প্রচলিত। g-wt-কে gf (gram force) ও লেখা হয়।

সাধারণ তুলার গঠন। এব গঠন 2·8 চিত্রে দেখান হয়েছে এবং যন্ত্রাংশগুলির



2·8 চিত্র (সাধারণ তুলা)

নামও ছবিতে দেওয়া হয়েছে। বিশদ বর্ণনা দরকার হবে না। ছবিতে যে তুলা দেখান হয়েছে এর সাহায্যে কোন বস্তু 0·01 গ্রাম সূক্ষ্মতায় ওজন করা যায়। এর চেয়েও সুবেদী তুলা আছে। কিন্তু এ স্তরে আমাদের আর বেশী সুবেদী তুলা দরকার হবে না।

ব্যবহার-বিধি। (১) তুলার বাক্সের সামনের কাচের ডালা ওপরে তুলে দেখ তা ঠিক মত আটকিয়ে থাকে কি না। (কোন কোন বাক্সের ছ'পাশ খোলা যায়; সামনের ডালা খোলা যায় না।)

(২) ওলন দড়ি (Plumb line) P-কাঁটার ঠিক ওপরে খাড়া ঝুলে আছে কিনা দেখ। না থাকিলে তুলা দণ্ড (beam) অনুভূমিক হবে না। তখন লেভলিং স্ক্রু ঘুরিয়ে ওলন দড়ি P-র মাথায় আনতে হবে।

(৩) ওজন করার সময় ছাড়া অন্য সময় তুলার আড়া (দণ্ড; Beam) একটা ফ্রেমে (চিত্রের 'Support') ধরা থাকে; নড়তে বা দুলতে পারে না। K হাতল ঘুরিয়ে আড়া ওপরে তোল। সব ঠিক থাকলে তুলার সূচক (Pointer) নীচের স্কেলের শূন্য দাগের দুপাশে সমান ভাবে দুলবে। তা না হলে তুলার আড়ার দুপাশে লাগান উপযোজক* স্ক্রুর (abjusting screw) একটি বা দুটিকেই ঘুরিয়ে সূচকের দোলন ঠিক মত অবস্থায় আনতে হবে। এবার তুলা ব্যবহারযোগ্য হল।

(৪) K হাতল ঘুরিয়ে তুলার আড়া ফ্রেমের উপর বসাও। এবার, যে বস্তুর ওজন বার করতে হবে তা বাঁদিকে তুলাপাত্রে রাখ। ওজনের (বাটখারার) বাক্স তোমার ডান দিকে তুলাপাত্রের কাছাকাছি রাখ। (যারা বেশীর ভাগ কাজ বাঁ হাতে করে, তারা এর বিপরীত ব্যবস্থা করবে।)

(৫) সবচেয়ে ভারী বাটখারা ডান দিকের পাত্রে রেখে K ঘুরিয়ে আড়া ওপরে তুলে দেখ কোন্ দিক ভারী। বাটখারার মান নিয়মিত ভাবে ক্রমশ কমিয়ে বা বাড়িয়ে সূচক স্কেলে সুষম ভাবে দোলে এমন অবস্থায় আন। বাটখারা বসান বা সরানর আগে সব সময়ই আড়া নামিয়ে নেবে: তাতে যেন ভুল না হয়।

(৬) ওজন ঠিক হলে ডানদিকের পাত্রের বাটখারাগুলি না সরিয়ে তাদের প্রত্যেকের মান ও মোট মান কত দেখে লিখে রাখ। তারপর একটি একটি করে বাটখারা ওজনের বাক্সে রাখ এবং রাখবার সময় তোমার লেখার সঙ্গে তা মিলিয়ে নাও।

(৭) যন্ত্রের ঢাকনার সামনের ডালা নামিয়ে যা যেখানে পেয়েছিলে তা সেই-ভাবে সেখানে রেখে দাও।

---

* উপযোজন=অবস্থার উপযোগীকরণ। উপযোজক=যা কোন কিছুকে অবস্থার উপযোগী করতে পারে; প্রয়োজন-সাধক।

ব্যবহারে সতর্কতা (Precautions)। (১) ওজন নিতে প্রত্যেকে একাই কাজ করবে।

(২) বাটখারার বাক্স থেকে বাটখারাগুলি নিতে বা বাক্সে রাখতে বাক্সে দেয়া চিমটা (tongs) ব্যবহার করবে। কখনও হাতে করে নেবে না।

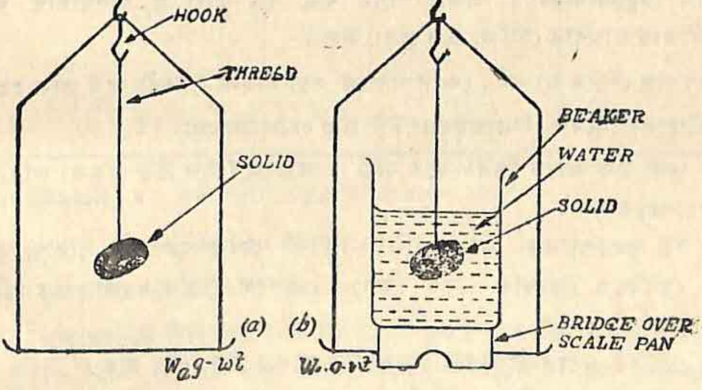
(৩) ভিজা বস্তু তুলা পাত্রে রাখবে না, বা কোন বস্তু গরম অবস্থায় ওজন করবে না।

(৪) দানা দানা বস্তু (যেমন বালি, লবণ বা চিনি) ওজন করতে হলে তা জানা ওজনের কোন পাত্রে নিয়ে ওজন করবে।

(৫) তুলার আড়া ওপরে তোলা থাকা অবস্থায় (আলগা অবস্থায়) কোন বাটখারা বসাবে না বা সরাবে না!

2-6. ঔদ তুলা (Hydrostatic balance)।

ঔদ তুলা বলতে যে তুলায় কোন বস্তুকে বায়ুতে এবং তরলে ডোবান অবস্থায় ওজন করা যায় তা বোঝায়। এখন সাধারণ তুলায় এবং ঔদ তুলায় কার্যত কোন প্রভেদ নাই। তুলাপাত্র যেখানে তুলার আড়ার সঙ্গে লাগান তার ঠিক নিচে একটি হুক (hook) থাকে (2·9 ছিত্র)। যে বস্তুটি তরলে (ধর, জলে) ওজন করতে হবে তা এক গাছা পাতলা সুতায় বেঁধে হুক থেকে, ঝুলিয়ে দেয়া হয়। কাঠের একখানা পাতলা চৌকি তুলাপাত্রকে স্পর্শ না করে এর ওপর দিয়ে আড়াআড়ি অবস্থায় বসান যায় (ছবি দেখ)। চৌকির ওপর একটি বীকারে (beaker) জল থাকে।



2·9 চিত্র (আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপনের বিভিন্ন ধাপ)

সুতা বাঁধা অবস্থায় বস্তুটিকে বায়ুতে ওজন করা হয় (2·9 a চিত্র)। পরে চৌকির ওপর বীকার বসিয়ে, যেন বস্তুটি বীকারের গায়ে না ঠেকে তার মধ্যেই থাকে এমন

করে রেখে, বীকারে জল ঢেলে বস্তুটিকে সম্পূর্ণ ডুবান হয়। ডুবান অবস্থায় এর ওজন আবার নেয়া হয় (2·9 *b* চিত্র)।

আগে ঔদ তুলা বলতে যে ধরণের তুলা বোঝাত তার একদিকের তুলাপাত্র লম্বায় খাট থাকত, এবং পাত্রের নিচে হুক লাগান থাকত। এখন এর প্রচলন কার্যত লোপ পেয়েছে। অতএব 'ঔদ তুলা' বলার এখন আর কোন সার্থকতা নাই। 'ঔদ তুলার সাহায্যে' বলার একমাত্র অর্থ হল আর্কিমিডিসের তত্ত্ব প্রয়োগ করে দণ্ড তুলার (Beam balance-এ) ওজন করে আপেক্ষিক গুরুত্ব বার করা।

2. 7. পরীক্ষণ 2 (Experiment 2)

অসম, জল থেকে ভারী ও জলে অদ্রবণীয় কঠিনের আয়তন ঔদ তুলার সাহায্যে নির্ণয়। (To determine the volume of a solid of irregular shape, heavier than and insoluble in water by Hydro-static balance.)

তত্ত্ব (Theory) ঃ আর্কিমিডিসের সূত্র অনুসারে কোন বস্তুকে তরলে সম্পূর্ণ ডোবালে বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস হয় এবং এই হ্রাস স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান। সংজ্ঞা অনুসারে, বায়ুতে কোন বস্তুর ওজন W_a g-wt ও জলে সম্পূর্ণ ডুবানো অবস্থায় বস্তুর ওজন W_w g-wt হলে, বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস (W_a-W_w) g-wt। এই ওজনই হবে স্থানচ্যুত (অর্থাৎ বস্তুর সম-আয়তন) জলের ওজন। এখন 1 cm^3 জলের ওজন 1 gm.

∴ স্থানচ্যুত জলের আয়তন $=(W_a-W_w)$ cm^3.

∴ বস্তুর আয়তন = স্থানচ্যুত জলের আয়তন $=(W_a-W_w)$ cm^3.

যন্ত্রাদি (apparatus) ঃ একটি অসম বস্তু, দণ্ড তুলা ও বাটখারার বাক্স, বীকার, বীকার রাখবার চৌকি, সরু সুতা, জল।

(সুতা জল শোষে না এমন কোন পদার্থে, ধর, নাইলনে তৈরী হলে ভাল হয়।)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)] ঃ

(১) তুলা ঠিক আছে কিনা দেখে নাও। নাহলে নিজে ঠিক কর বা ভারপ্রাপ্ত শিক্ষক মহাশয়কে বল।

(২) বাঁ তুলাপাত্রের আড়াআড়ি চৌকিটি রেখে তুলাদণ্ড দুলিয়ে দেখ তুলাপাত্র চৌকিতে কোথাও ঠেকে কিনা। ঠেকলে চৌকি দরকার মত সরিয়ে তুলাপাত্র মুক্ত রাখ।

(৩) চৌকির ওপরে বীকারটি তুলাপাত্রের হুকের ঠিক নিচে রাখ।

(৪) পরীক্ষণীয় বস্তুটি সুতায় বেঁধে ওপরের হুক থেকে এমনভাবে ঝোলাও যাতে বস্তুটি কোন অবস্থায়ই যেন বীকারের গায়ে না ঠেকে।

(৫) বায়ুতে বস্তুটির ওজন নাও (W_a g-wt) ও ওজন ঠিকমত লিখে রাখ।

(৬) বীকারে জল ঢেলে বস্তুটিকে সম্পূর্ণ ডুবাও। আরও বেশী খানিকটা জল দিও, যেন ওজনের সময় বস্তুটির কোন অংশ জল ছেড়ে না ওঠে।

(৭) নজর করে দেখ জলের ভিতরে বস্তুটির গায়ে কোথাও বায়ুর বুদবুদ লেগে আছে কিনা। থাকলে বস্তুটিকে নাড়াচাড়া করে বা সরু তারের সাহায্যে বুদবুদ দূর করতে হবে। (বুদবুদ থেকে গেলে স্থানচ্যুত জলের আয়তন বেশী হওয়ায় জলে বস্তুটির ওজন যা হওয়া উচিত তার চেয়ে কম হবে। এতে পরীক্ষার ফলে ত্রুটি হবে।)

(৮) জলে ডোবান অবস্থায় বস্তুটির ওজন নাও (W_w g-wt) ও ওজন ঠিকমত লিখে রাখ।

(৯) সব জিনিসগুলি যে অবস্থায় পেয়েছিলে সেই অবস্থায় রেখে দাও।]

নিরীক্ষা (Observation) ঃ

ঘরের উষ্ণতা $= \cdots °c$

পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	বায়ুতে বস্তুর ওজন (W_a)	জলে বস্তুর ওজন (W_w)	বস্তুর আয়তন $V=(W_a-W_w)$ cm³	বস্তুর গড় আয়তন cm³
1.	$(\cdots+\cdots+\cdots+\cdots)$ g-wt $+(\cdots+\cdots+\cdots+\cdots)$ mg-wt $=\cdots$gwt	$(\cdots+\cdots+\cdots+\cdots)$ g-wt $+(\cdots+\cdots+\cdots+\cdots)$ mg-wt $=\cdots$gwt		
2.				

ফল (Result) ঃ পরীক্ষণীয় বস্তুর আয়তন $= \cdots \text{cm}^3$.

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) তুলা ঠিক আছে কিনা দেখা হল।

(২) তুলাপাত্রের আড়াআড়ি চৌকি রেখে, এর ওপরে বীকার রেখে পরীক্ষণীয় বস্তুটি সুতায় বেঁধে ওপরের হুক থোক এমনভাবে ঝোলান হল যেন তুলাপাত্র চৌকিতে না আটকায় এবং বস্তুটি বীকারের মাঝামাঝি থাকে।

(৩) বস্তুটি বায়ুতে ওজন করা হল।

(৪) বীকারে যথেষ্ট জল ঢেলে জলে বস্তুটির ওজন নেয়া হল।

সতর্কতা। (১) তুলাপাত্র চৌকির গায়ে যেন ঠেকে না থাকে। (২) বস্তুটি কখনও বীকারের গায় ঠেকে না থাকে। (৩) বস্তুটির গায় বুদ্‌বুদ লেগে না থাকে।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর

প্রঃ 1. আর্কিমিডিসের সূত্র কি ?

উঃ কোন বস্তুকে আংশিক অথবা সম্পূর্ণভাবে কোন স্থির তরল বা বায়বীয় পদার্থে নিমজ্জিত করলে বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস হয়। এই আপাত ওজন হ্রাস বস্তু যে পরিমাণ তরল বা বায়বীয় পদার্থ স্থানচ্যুত করে তার ওজনের সঙ্গে সমান।

প্রঃ 2. এই সূত্র প্রয়োগ করে কিভাবে বস্তুর আয়তন নির্ণয় করা যায় ?

উঃ এই পরীক্ষণের তত্ত্ব দেখ।

প্রঃ 3. বস্তু গায়ে বুদ্‌বুদ থাকলে ক্ষতি কি ?

উঃ বস্তু নিজের আয়তনের থেকে বেশী আয়তনের জল স্থানচ্যুত করে। এতে $W_a - W_w$ বাড়ে এবং আয়তন বাড়ে।

প্রঃ 4. তুলাপাত্র চৌকির গায় বা বস্তুটি বীকারের গায় ঠেকলে কি ক্ষতি হয় ?

উঃ ওজন ঠিক হয় না।

2-8. পরীক্ষণ 3 (Experiment 3)

ঔদ তুলার সাহায্যে জল অপেক্ষা ভারী, জলে অদ্রাব্য কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়। (To determine the specific gravity of an insoluble solid, heavier than water, with a hydrostatic balance)

তত্ত্ব (Theory)। বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব বলতে বস্তুর ভর (বা ওজন) ও 4°c উষ্ণতায় সমআয়তন জলের (বা ওজনের) অনুপাতকে বোঝায়।

$$\text{সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{নির্দিষ্ট-আয়তন পদার্থের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন } 4^\circ c \text{ উষ্ণতায়}}$$

বায়ুতে কোন বস্তুর ওজন W_a g-wt ও জলে সম্পূর্ণ ডোবান অবস্থায় এর ওজন W_w g-wt হলে, ওজনের হ্রাস $(W_a - W_w)$ g-wt। এই ওজনই স্থানচ্যুত (অর্থাৎ বস্তুটির সম-আয়তন) জলের ওজন। অতএব বস্তুটির পদার্থের ঘরের তাপমাত্রায়

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব } (S') = \frac{W_a}{W_a - W_w}$$

সুতরাং প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = S' \times S_t$, যেখানে S_t হচ্ছে ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

যন্ত্রাদি (Apparatus)। পরীক্ষণীয় কঠিন বস্তু (কাচের টুকরো বা ধাতু-খণ্ড), দণ্ড তুলা ও বাটখারার বাক্স, বীকার, বীকার রাখবার চৌকি, সরু সুতা, জল।

(সুতা জল শোষে না এমন কোন পদার্থে, ধর, নাইলনে তৈরি হলে ভাল হয়।)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)। পরীক্ষণ 2-এর মত।]

নিরীক্ষা (Observation) ঃ ঘরের তাপমাত্রা $(t)=\cdots°c$

$t°c$ তাপমাত্রায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $(S_t)=\cdots$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বস্তুর বায়ুতে ওজন (W_a)	বস্তুর জলে ওজন (W_w)	আপেক্ষিক গুরুত্ব $S'=\frac{W_a}{W_a-W_w}$	গড় S'
1.	$(\cdots+\cdots+\cdots)$ g-wt $+(\cdots+\cdots)$ mg-wt $=\cdots$g-wt.	$(\cdots+\cdots+\cdots+\cdots)$ g-wt $+(\cdots+\cdots)$ mg-wt $=\cdots$g-wt.		
2.				

হিসাব Calculation ঃ ঘরে উষ্ণতায় বস্তুর আঃ গুঃ (1)

$$S'=\frac{W_a}{W_a-W_w}=\cdots(2)\cdots$$

ফল Result ঃ প্রকৃত আঃ গুঃ $S=S'\times S_t=\cdots\times\cdots=\cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা Method followed ঃ পরীক্ষণ 2-এর মত।

সতর্কতা Precautions ঃ পরীক্ষণ 2-এর মত।

মন্তব্য ঃ জলের উষ্ণতার জন্য শুদ্ধি। আপেক্ষিক গুরুত্বের সঠিক সংজ্ঞায় বলে, জলের উষ্ণতা 4°C হওয়া দরকার। কিন্তু পরীক্ষণে আমরা ঘরের উষ্ণতায় জল নিয়ে থাকি। ঘরের উষ্ণতা শীতে গ্রীষ্মে মোটামুটি 20°C থেকে 40°C-র মধ্যে থাকে। 40°C-তে জলের যথার্থ আপেক্ষিক গুরুত্ব (অর্থাৎ 4°C-তে জলের তুলনায়) প্রায় 0·992। কম উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1-এর আরও কাছে; 20°C-তে 0·998। দেখা যায় উষ্ণতার যে সীমার মধ্যে আমাদের কাজ করতে হয় তাতে উষ্ণতর জলের জন্য আপেক্ষিক গুরুত্বের শুদ্ধি 1%-এর চেয়েও কম। কাজের আপেক্ষিক গুরুত্ব হিসাব করতে লব (numerator) বা হর (denominator)-এ যদি চারটি সার্থক সংখ্যা (1-4 ও 1-6 বিভাগ) না থাকে, তবে উষ্ণতার শুদ্ধি সম্পূর্ণ অর্থহীন হয়।

চারটি করে সার্থক সংখ্যা থাকলে উষ্ণতার শুদ্ধির সমীকরণ হয়

নির্ণেয় আপেক্ষিক গুরুত্ব $=t°$C-তে জল সাপেক্ষে পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $\times t°$C উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

বিভিন্ন °C উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

উষ্ণতা	0	2	4	6	8
20	0·9982	0·9978	0·9973	0·9968	0·9963
30	0·9957	0·9951	0·9944	0·9937	0·9930

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন।

(১) ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বে প্রভেদ কি? কোনটি কি এককে প্রকাশ করা হয়? এককের কোন্ পদ্ধতিতে এদের মান সমান? (২) এক্ষেত্রে বস্তুটির ঘনত্ব সি জি এস এককে কত? (৩) বস্তুটির আয়তন কত? (৪) জল শোষক বা মোটা সুতা ব্যবহারে দোষ কি?

উত্তর। (১) ঘনত্ব অর্থে প্রতি একক আয়তনের ভর কত তা বোঝায়। আপেক্ষিক গুরুত্ব পদার্থের ঘনত্ব ও জলের ঘনত্বের অনুপাত। জলের তুলনায় পদার্থটি কতগুণ ভারী আপেক্ষিক গুরুত্বে তাই বোঝায়। এ সংখ্যা মাত্র। ঘনত্বের একক = ভরের একক। আয়তনের একক। সি জি এস পদ্ধতিতে ঘনত্বের মান আপেক্ষিক গুরুত্বের সমান। (২) আপেক্ষিক গুরুত্ব s হলে ঘনত্ব s g/cm³। (৩) $W_a - W_w$ cm³। জলে ডোবা অবস্থায় বস্তুটির ওজন একটু বেশী হয়, কারণ সুতা খানিকটা জল শোষণ করে। সুতা মোটা হলে W_a সুতাসমেত ওজন বলে বস্তুর ওজন বেশী হয়।

অন্য প্রশ্ন ও উত্তর পরীক্ষণ 2-এর মত।

2-8.2 পরীক্ষণ 4 (Experiment 4)

জল অপেক্ষা ভারী, কিন্তু জলে দ্রবণীয় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (To determine the specific gravity of a solid, soluble in water but heavier, with a hydrostatic balance)

তত্ত্ব (Theory)। কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন W_a, এবং বস্তু গলে না এমন কোন তরলে এর ওজন W_l হলে, আর্কিমিডিসের সূত্র অনুসারে ঐ তরল সাপেক্ষে বস্তুটির পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$s_l = \frac{W_a}{W_a - W_l}$$

জল সাপেক্ষে ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব s' হলে, জল সাপেক্ষে ঘরের তাপমাত্রায় পরীক্ষণীয় পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$s_1 = s_l \times s'$$

∴ প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s_l \times s_t$; এখানে $s_t =$ জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঘরের তাপমাত্রায়।

যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। পরীক্ষণীয় কঠিন বস্তু (ফটকিরি, সৈন্ধব লবণ বা মিছরির ডেলা), কেরোসিন (এতে বস্তুটি গলে না), দণ্ডতুলা ও বাটখারার বাক্স, বীকার, বীকার রাখবার চৌকি, সরু সুতা।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)।

2-8.1. বিভাগের পরীক্ষণের সব নির্দেশ। কেবল জলের বদলে কেরোসিন নিতে হবে।]

নিরীক্ষা (**Observations**)। ঘরের তাপমাত্রা $(t°c) = \cdots°c$

$t°c$ উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \cdots$

জল সাপেক্ষে কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s') = \cdots$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বায়ুতে বস্তুর ওজন W_a g-wt	কেরোসিনে বস্তুর ওজন W_l g-wt	বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব কেরোসিন সাপেক্ষে	গড় আপেক্ষিক গুরুত্ব কেরোসিন সাপেক্ষে
1.				
2.				

হিসাব (**Calculation**) ঃ কেরোসিন সাপেক্ষে বস্তুটির পদার্থের

আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s_l) = \dfrac{W_a}{W_a - W_l} = \cdots$

ফল (**result**) ঃ জল সাপেক্ষে নির্ণেয় আপেক্ষিক গুরুত্ব $s_1 = s_l \times s' = \cdots$

$\therefore$ প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s, \times s_t = \cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (**Method followed**) ঃ [(১) থেকে (৪) আগের পরীক্ষণের মত ; কেবল জলের বদলে 'কেরোসিন' লেখ।]

(৫) কেরোসিন সাপেক্ষে পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বার করে তাকে কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব দিয়ে গুন করে নির্ণেয় ফল পাওয়া গেল। কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে দেয়া হয়েছিল।

সতর্কতা ঃ (আগের পরীক্ষণের মত)

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন ঃ (১) বস্তুর আয়তন কত ?

উত্তর ঃ (১) $W_a - W_l$ গ্রাম কেরোসিনের আয়তন $= (W_a - W_l)/s_l$ cm³। অন্য প্রশ্ন ও উত্তর আগের পরীক্ষণের মত।

2-8.3. পরীক্ষণ 5 (Experiment 5)

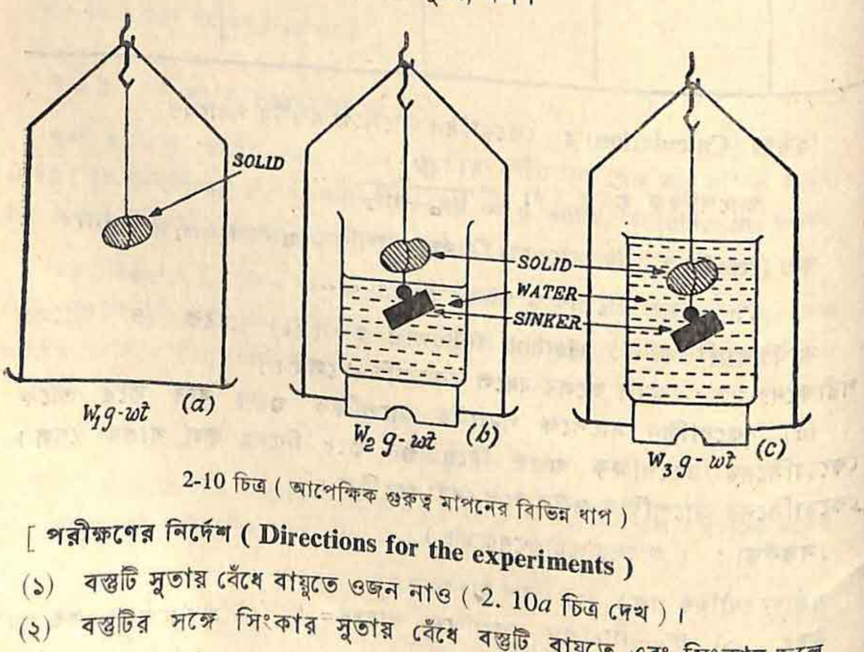
জলে ভাসে, কিন্তু জলে অদ্রাব্য কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (To determine the specific gravity of a solid, insoluble in water and which floats in water, with a hydrostic balance).

তত্ত্ব (Theory) ঃ বায়ুতে পরীক্ষণীয় বস্তুর ওজন W_1 g-wt, বস্তু বায়ুতে ও সিংকার (নিমজ্জক) সম্পূর্ণ জলে ডোবা অবস্থায় ওজন W_2 g-wt, এবং বস্তু ও সিংকার সম্পূর্ণ জলে ডোবা অবস্থায় এদের যুক্ত ওজন W_3 g-wt হলে, আর্কিমিডিসের সূত্র অনুসারে পরীক্ষণীয় বস্তু দিয়ে স্থানচ্যুত জলের ওজন (W_2-W_3) g-wt। এই পরিমাণ জলের আয়তন বস্তুটির আয়তনের সমান।

অতএব ঘরের তাপমাত্রায় আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s')=\dfrac{W_1}{W_2-W_3}$

$\therefore$ প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব$=s'\times s_t$, এখানে s_t জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঘরের তাপমাত্রায়।

যন্ত্রাদি (Apparatus) ঃ পরীক্ষণীয় বস্তু (কর্ক, হালকা কাঠ বা প্ল্যাস্টিকের টুকরা), দণ্ডতুলা ও বাটখারার বাক্স, চৌকি, বীকার, সিংকার (sinker ; এটা এক খণ্ড ধাতু বা আলাদা একটি বাটখারা হতে পারে। পরীক্ষণীয় বস্তুর সঙ্গে বেঁধে জলে ছেড়ে দিলে জলে ডোবে), সরু সুতা, জল।



2-10 চিত্র (আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপনের বিভিন্ন ধাপ)

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiments)**

(১) বস্তুটি সুতায় বেঁধে বায়ুতে ওজন নাও (2. 10*a* চিত্র দেখ)।

(২) বস্তুটির সঙ্গে সিংকার সুতায় বেঁধে বস্তুটি বায়ুতে এবং সিংকার জলে সম্পূর্ণ ডোবান অবস্থায় ওজন নাও (2.10*b* চিত্র দেখ)]

(৩) বস্তুটি ও সিংকার জলে সম্পূর্ণ ডুবিয়ে ওজন নাও (2.10c চিত্র দেখ)।

নিরীক্ষা (Observation) : ঘরের তাপমাত্রা $t=\cdots°c$।

ঘরের তাপমাত্রায় আপেক্ষিক গুরুত্ব $s_t=\cdots$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বায়ুতে বস্তুর ওজন W_1 g wt	বস্তু বায়ুতে + নিমজ্জক জলে ওজন W_2 g-wt	বস্তু ও নিমজ্জক জলে ওজন W_3 g-wt	$S'=\dfrac{W_1}{W_2-W_3}$	গড় S′
1.					
2.					

হিসাব (Calculations) ও ফল (Result) :

আপাত আপেক্ষিক গুরুত্ব $s'=\dfrac{W_1}{W_2-W_3}=\cdots$

$\therefore$ প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $=s'\times s_t=\cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) :

(১) থেকে (৩)—প্রথম পরীক্ষণের মত।

(৪) বস্তুটির সঙ্গে সিংকার এমন ভাবে বাঁধা হল যেন দুইএর মধ্যে প্রায় 2-3 cm ফাঁক থাকে।

(৫) বীকারে জল ঢেলে সিংকার সম্পূর্ণ জলে ডোবান হল, কিন্তু বস্তুটি বায়ুতে রইল। এই অবস্থায় আবার ওজন নেয়া হল।

(৬) বীকারে আরও জল ঢেলে সিংকার ও বস্তু জলে ডুবান অবস্থায় আবার ওজন নেয়া হল।

সতর্কতা : তুলাপাত্র যেন চৌকির গায় ঠেকে না। (২) বস্তু বা সিংকার বীকারে ঠেকে না (৩) বস্তু বা সিংকারে বুদ্‌বুদ থাকে না।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন।

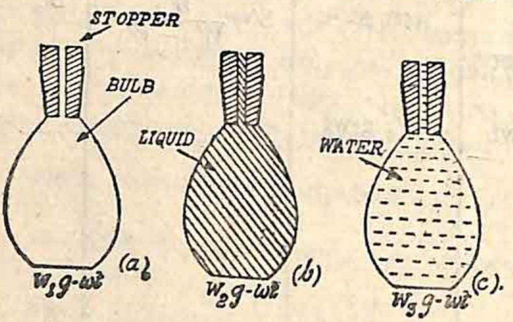
(১) (W_2-W_3) কি করে পরীক্ষণীয় বস্তুতে স্থানচ্যুত জলের ওজনের সমান হল বোঝাও।
(২) আপেক্ষিক গুরুত্ব 1-এর বেশী এবং 1-এর কম এর কোন্‌টিতে পদার্থ সম্বন্ধে কি বোঝা যায়?

উত্তর : (১) W_2=বস্তুটির বায়ুতে ওজন+সিংকারের জলে ওজন। W_3=বস্তুটির জলে ওজন+সিংকারের জলে ওজন। অতএব W_2-W_3=বায়ুতে বস্তুটির ওজন−জলে বস্তুটির

ওজন=স্থানচ্যুত জলের ওজন=বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন। (২) 1-এর বেশী হলে ঐ পদার্থের বস্তু জলে ডুববে ; কম হলে ভাসবে। অন্য প্রশ্ন ও উত্তরের জন্য ২ ও ৩ পরীক্ষণ দেখ।

2-9. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (specific gravity bottle)।

আপেক্ষিক গুরুত্ব (মাপক) বোতল বলতে বিশেষ গঠনের (2.11 *a* চিত্র) কাচের একটি বোতল বোঝায়। এর নিচের অংশ কতকটা বালবের মত। তলা চেপটা এবং ওপরে লম্বা গলা। লম্বা গলায় কাচের ছিপি লাগান থাকে। ছিপির ভিতরে লম্বালম্বি সরু একটি ছেঁদা। বালব তরলে ভরে ছিপিটি আলগোছে মুখে লাগিয়ে দিলে খানিকটা তরল সরু ছেঁদা দিয়ে বার হয়ে যায়, এবং বোতলে নির্দিষ্ট আয়তনের তরল থেকে যায়।



2·11 চিত্র (বোতলের সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপনের বিভিন্ন ধাপ)

বোতলের ভিতরের আয়তন সাধারণত 20, 25 বা 50 cm³ করা হয়। বোতলের গায়ে আয়তন, এবং কত উষ্ণতায় ঐ আয়তন, তা লেখা না থাকলে আয়তন সম্বন্ধে কিছু ধরে নেয়া সঙ্গত হবে না। উষ্ণতা বদলালে আয়তন সামান্য বদলায়। সে জন্য বোতল নিয়ে কাজ করবার সময় এর নিচের অংশ হাতে না ধরে দুই আঙুলে গলা ধরে একে নাড়াচাড়া করা উচিত।

এই বোতলের সাহায্যে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব খুব সহজেই বার করা যায়। কঠিন পদার্থ গুঁড়ার আকারে হলে তার আপেক্ষিক গুরুত্বও বার করা যায়। সব ক্ষেত্রেই ওজন করা দরকার হয় বলে দণ্ড তুলার প্রয়োজন হয়।

এখানে আমরা আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে তিনটি পরীক্ষণের কথা বলব :

(১) তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ;

(২) জলে অদ্রাব্য, দানা বা গুঁড়ার আকারের কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ;

(৩) জলে দ্রবণীয়, দানা বা গুঁড়ার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়।

2-9.1. পরীক্ষণ 6 (Experiment 6)

আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (**To determine the specific gravity of a liquid using a specific gravity bottle**).

তত্ত্ব (**Theory**) ঃ সংজ্ঞা অনুসারে কোন তরলের

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তন তরলের ওজন } (W_l)}{4^\circ c \text{ উষ্ণতায় সম-আয়তন জলের ওজন } (W_w)} = s$$

মনে করি, ছিপি সমেত শুকনো বোতলের ওজন $= W_1$ g-wt,

তরল ভর্তি বোতলের ওজন $= W_2$ g-wt,

জল ভর্তি বোতলের ওজন $= W_3$ g-wt.

$\therefore$ তরলের ওজন $= (W_2 - W_1)$ g-wt $= W_l$

এবং সমআয়তন জলের ওজন $= (W_3 - W_1)$ g-wt $= W_w$

সুতরাং ঘরের উষ্ণতায় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s' = \dfrac{W_l}{W_w} = \dfrac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1}$

$\therefore$ তরলের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s' \times s_t$ যেখানে s_t হচ্ছে ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (সংক্ষেপে একে আমরা আঃ গুঃ বোতল লিখব), দণ্ড তুলা ও বাটখারার বাক্স, পরীক্ষণীয় তরল (ধর, মেথিলেটেড স্পিরিট). জল, ব্লটিং কাগজ বা পুরান নরম কাপড়।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)।

(১) বোতলটি শুকনা ও পরিষ্কার কি না দেখে. দরকার হলে একে শুকিয়ে ও পরিষ্কার করে ছিপি সমেত ওজন নাও। ওজনের আগে তুলা ঠিক আছে কি না দেখে নিও।

(২) বোতলটি পরীক্ষণীয় তরলে ভর, ছিপি বসাও (2·11 *b* চিত্র) ও বোতলের গা বেয়ে যে তরল পড়ল তা কাপড় বা ব্লটিং কাগজে মুছে ফেল। তারপর এর ওজন নাও। ওজনের আগে দেখে নাও ছিপির নিচে বা অন্যত্র বায়ুর বুদ্‌বুদ আছে কি না। থাকিলে তা দূর করে নিও।

(৩) বোতল থেকে তরল ফেলে দিয়ে কয়েকবার এর ভিতরটা জল দিয়ে ধোও। এবার একে জলে ভরে ছিপি বসিয়ে (2·11 *c* চিত্র) উদ্বৃত্ত (উপচান) তরল মুছে ফেলে জল সমেত বোতল ওজন কর। (এখানেও বুদ্‌বুদ তাড়ান দরকার)।

(৪) সব জিনিসগুলি যে অবস্থায় পেয়েছিলে সেই অবস্থায় রেখে দাও।]

নিরীক্ষা (**Observations**)।

ঘরের তাপমাত্রা $(t^\circ c) = \cdots ^\circ c$

ঘরের তাপমাত্রায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $(S_t) = \cdots$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ছিপি সমেত বোতলের ওজন W_1 g-wt	তরল ভর্তি বোতলের ওজন W_2 g-wt	জল ভর্তি বোতলের ওজন W_3 g-wt	তরলের ওজন $W_l = W_2 - W_1$ g-wt	সমআয়তন জলের ওজন $W_w = W_3 - W_1$ g-wt	তরলের আপাত আঃ গুঃ	তরলের গড় আঃ গুঃ S'
1.							
2.							

হিসাব (Calculation) ও ফল (Result)

তরলের ওজন $= W_2 - W_1 = W_l$ g-wt

সমআয়তন জলের ওজন $= W_3 - W_1 = W_w$ g-wt

অতএব তরলের আপাত আপেক্ষিক গুরুত্ব $s' = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} = \frac{W_l}{W_w} = \cdots$

$\therefore$ তরলের প্রকৃত আঃ গুঃ $= s' \times s_t = \cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)

(১) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলটি পরিষ্কার করে, শুকিয়ে নেয়া হল।

(২) তুলা ঠিক আছে কি না দেখে খালি, শুকনা বোতলটি ছিপিসমেত ওজন করা হল।

(৩) বোতল পরীক্ষণীয় তরলে ভরে, ছিপি বসিয়ে, উদ্বৃত্ত তরল মুছে ফেলে তরল ভরা বোতল ওজন করা হল।

(৪) বোতল থেকে তরল ফেলে দিয়ে এর ভিতরটা কয়েকবার জল দিয়ে ধোয়া হল। তার পর বোতল জলে ভরে, ছিপি বসিয়ে, উদ্বৃত্ত জল মুছে ফেলে জলভরা বোতলের ওজন নেয়া হল।

(৫) ব্যবহৃত জলের উষ্ণতা দেখা হল।

সতর্কতা ঃ বোতলের তরলে বা জলে বায়ুর বুদবুদ্‌ থাকতে দেয়া ঠিক নয়। দুই আঙুলে বোতলের গলা ধরে নাড়াচাড়া করে বুদবুদ তাড়ান দরকার।

মন্তব্য ঃ এ পরীক্ষণে তুলা যদি 0·01g পর্যন্ত মাপতে পারে তবে তরলের ওজন (W_l) ও জলের ওজন (W_w) চারটি সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত পাওয়া যেতে পারে। এরকম হলে জলের উষ্ণতার জন্য আপেক্ষিক গুরুত্বের শুদ্ধি করা যায়। শুদ্ধি করতে হলে 'নিরীক্ষায়' ব্যবহৃত জলের উষ্ণতা (t°C) লিখে রাখবে। (t°C) তে জলের

আপেক্ষিক গুরুত্ব কত জেনে নাও। ধর s_t। শোধিত ফল হবে $s \times s_t$।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন :

(১) বোতল কিভাবে পরিষ্কার করছে ও শুকিয়েছ? (২) বোতল নাড়াচাড়া করতে কিভাবে ধরা উচিত? কেন? (৩) বোতলের ছিপিতে সরু ছেঁদা থাকায় সুবিধা কি? (৪) ছিপি আলগোছে ছাড়বে কেন? চাপলে দোষ কি? (৫) বোতলের তরলের আয়তন কত? (৬) ওজনগুলি যা পেয়েছ তাতে জলের উষ্ণতার জন্য শুদ্ধির সার্থকতা আছে কি? (৭) বোতলের তরলে বা জলে বুদ্‌বুদ না থাকা দরকার কেন? থাকলে কি ভাবে তা তাড়িয়েছ?

উত্তর : (১) বোতলের ভিতর পরিষ্কার না থাকলে কিসের জন্য তা না জেনে পরিষ্কার করা যায় না। এজন্য শিক্ষক মহাশয়কে জিজ্ঞাসা করতে হয়। সাধারণত জল বা পাতলা এসিড দিয়ে পরিষ্কার করা হয়। বাইরেটা পরিষ্কার করতে সাধারণত জল বা সাবান জল দরকার হয়। শুকাবার জন্য বোতল গরম হাওয়ায় বা তপ্ত বালুর (sand bath-এর) ওপর রাখতে হয়। (২) বোতলের সরু গলা আঙুলে ধরে নাড়াচাড়া করতে হয়। বোতলের আয়তন নির্দিষ্ট। গলার উষ্ণতার পরিবর্তনে আয়তন পরিবর্তন কার্যত উপেক্ষণীয়। কিন্তু পেটের ওপর ধরলে উষ্ণতা পরিবর্তনে আয়তন পরিবর্তন বেশী হবে। (৩) উষ্ণতার সামান্য পরিবর্তনেই তরল বার হয়ে আসবে বা ছিপিতে তরল তল নীচে নামবে। ছেঁদা সরু থাকলে এরকম পরিবর্তন সহজেই ধরা পড়ে। (৪) জোরে চাপলে বোতলের গলা ভেঙে যাবার আশংকা থাকে। তাছাড়া ছিপি বোতলের গলায় আটকিয়ে থাকতে পারে। তৃতীয় কারণ, জোরে চাপলে বোতলের আয়তন একটু বাড়ে। (৫) $(W_3 - W_1)$ cm³। (৬) ওপরের 'মন্তব্য' দেখ। W_l এবং W_w-তে চারটি করে সার্থক সংখ্যা না থাকলে উষ্ণতার শুদ্ধির কোন অর্থ নাই। (৭) বুদ্‌বুদ থাকলে তরল বা জলের ওজন যা হওয়া উচিত তার চেয়ে কম হবে। এতে ফলে অশুদ্ধি ঘটে। বোতলের ভিতরে বোতলের দেওয়ালে বুদ্‌বুদ থাকলে ছিপি খুলে আঙুলে মুখ বন্ধ করে ঝাঁকিয়ে বুদ্‌বুদ তাড়ান যায়। ছিপির নিচে বুদ্‌বুদ থাকলে বোতলের মুখের ওপরেও একটু তরল থাকতে দিয়ে ছিপিটি আলগোছে ছেড়ে দিলে ছিপির নিচে বুদ্‌বুদ থাকে না।

2-9.2. পরীক্ষণ 7 (Experiment 7)

জলে অদ্রাব্য, দানা বা গুঁড়ার আকারের কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (To determine the specific gravity of a granular solid, insoluble in water, using a specific gravity bottle)

তত্ত্ব (Theory) : দানাগুলির ওজন W_s এবং সম-আয়তন জলের ওজন W হলে ঘরের উষ্ণতায় দানার পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $s' = W_s / W_w$।

ধরা যাক, ছিপি সমেত বোতলের ওজন $= W_1$ g-wt.

দানা দিয়ে অংশত পূর্ণ বোতলের ওজন $= W_2$ g-wt

দানা+বাকী অংশ জল দিয়ে পূর্ণ বোতলের ওজন $= W_3$ g-wt

এবং বোতল ভর্তি জলের ওজন $= W_4$ g-wt.

সুতরাং, দানার ওজন $= W_2 - W_1 = W_s$ g-wt

বোতলের সম-আয়তন জলের ওজন $= (W_4 - W_1)$ g-wt

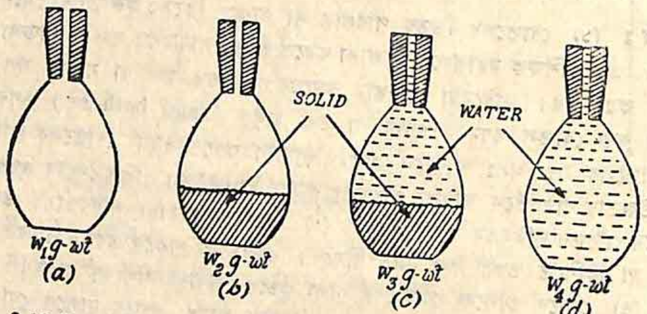
দানার ওপর যে জল তার ওজন $=(W_3-W_2)$ g-wt.

অতএব, দানার সম-আয়তন জলের ওজন $=(W_4-W_1)-(W_3-W_2)$

$=W_w$ g-wt.

$\therefore$ ঘরের উষ্ণতায় বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব $=s'=\dfrac{W_2-W_1}{(W_4-W_1)-(W_3-W_2)}$

$=\dfrac{W_s}{W_w}$



2·12 চিত্র (বোতলের সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপনের বিভিন্ন ধাপ)

$\therefore$ বস্তুর প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $=s'\times s_t$; $s_t=$ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। আঃ গুঃ বোতল, দণ্ড তুলা ও বাটখারার বাক্স, দানা বা গুঁড়া আকারের পরীক্ষণীয় পদার্থ (ধর, খানিকটা বালি), জল, কাপড় বা ব্লটিং কাগজ।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)।

(১) বোতল পরিষ্কার করে ও শুকিয়ে ছিপি সমেত খালি বোতলের (2.12*a* চিত্র) ওজন নাও। ওজনের আগে তুলা ঠিক আছে কি না দেখে নিও।

(২) বোতলের প্রায় এক-তৃতীয়াংশ পরীক্ষণীয় দানা বা গুঁড়া দিয়ে ভর্তি কর এবং এদের (2.12*b* চিত্র) ওজন নাও।

(৩) বোতলের বাকি অংশ জলে ভরে আস্তে আস্তে ঝাঁকিয়ে বায়ুর বুদ্‌বুদগুলি দূর কর। তারপর ছিপি বসাও, উদ্বৃত্ত জল মুছে ফেল ও ওজন নাও (2·12*c* চিত্র)।

(৪) বোতল খালি কর ও কয়েকবার জল দিয়ে ভিতরটা ধোও। তারপর বোতল জলে ভরে ছিপি বসিয়ে উদ্বৃত্ত জল মুছে জলভরা বোতল (2.12*d* চিত্র) ওজন কর।]

নিরীক্ষা (**Observations**)।

ঘরের উষ্ণতা $(t) = \cdots°c$

ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s_t) = \cdots$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ছিপি সমেত শুকনো বোতলের ওজন W_1 g-wt	দানা দিয়ে অংশত পূর্ণ বোতলের ওজন W_2 g-wt	দানা এবং দানার ওপর জল দিয়ে পূর্ণ বোতলের ওজন W_3 g-wt	বোতল ভর্তি জলের ওজন W_4 g-wt	আঃ গুঃ s'	গড় s'

হিসাব (**Calculations**) ও ফল (**Result**)।

দানাগুলির ওজন $= W_2 - W_1 = W_s$ g-wt

বোতল ভরা জলের ওজন $= (W_4 - W_1)$ g-wt

দানার উপরের জলের ওজন $= (W_3 - W_2)$ g-wt

অতএব দানাগুলির সমান আয়তন জলের ওজন

$$= (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2) = W_w \text{ g-wt}$$

∴ ঘরের উষ্ণতায় আপেক্ষিক গুরুত্ব $s' = \dfrac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$

$$= \frac{W_s}{W_w} = \cdots$$

∴ প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s' \times s_t = \cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (**Method followed**)।

(১) বোতল পরিষ্কার করে ও শুকিয়ে, তুলা ঠিক আছে কিনা দেখে, ছিপি সমেত খালি বোতলের ওজন নেয়া হল।

(২) বোতলের প্রায় এক-তৃতীয়াংশ পরীক্ষণীয় দানায় ভরে দানা সমেত বোতলের ওজন নেয়া হল।

(৩) বোতলের বাকী অংশ জলে ভরে আস্তে আস্তে ঝাঁকিয়ে দানাগুলির ফাঁকে ফাঁকে আবদ্ধ বায়ুর বুদ্‌বুদ তাড়িয়ে ছিপি বসান হল। উদ্বৃত্ত জল মুছে দানা ও জল সমেত বোতলের ওজন নেয়া হল।

(৪) বোতল খালি করে এর ভিতরটা কয়েকবার জল দিয়ে ধুয়ে ভিতর থেকে সব দানাগুলি দূর করে বোতল জলে সম্পূর্ণ ভরা হল। তারপর ছিপি বসিয়ে উপচান জল মুছে ফেলে জলভরা বোতল ওজন করা হল।

সতর্কতা ঃ বোতলে বায়ুর বুদ্‌বুদ থাকতে দেয়া উচিত নয়। দুই আঙুলে বোতলের সরু গলা ধরে নাড়াচাড়া করে বুদবুদ দূর করা দরকার।

মন্তব্য ঃ উষ্ণতার শুদ্ধি প্রযোজ্য হলে আগের পরীক্ষার মত কর।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) থেকে (৪) আগের পরীক্ষণের মত। (৫) দানাগুলির আয়তন কত? এদের ওজন কত? দানাগুলির ঘনত্ব কত? (৬) বুদ্‌বুদ তাড়ান এক্ষেত্রে বিশেষ দরকার কেন? (৭) যে পাঠগুলি পেয়েছ তাতে জলের উষ্ণতার জন্য শুদ্ধির সার্থকতা আছে কি?

উত্তর ঃ (১) থেকে (৪) আগের পরীক্ষণের মত। (৫) পরীক্ষণের 'হিসাব' অংশ দেখ। $(W_4-W_1)-(W_3-W_2)=W_w$ cm³। (W_2-W_1) W_s g-wt। (W_s/W_w) g/cm³। (৬) দানাগুলির ফাঁকে ফাঁকে প্রচুর বায়ুর বুদ্‌বুদ থেকে যায়। সেগুলি না তাড়ালে জলের বদলে বায়ু থাকায় ওজন (W_3) কম হবে। এতে W_w বেশী হবে এবং নির্ণেয় ফল ছোট হবে। (৭) আগের পরীক্ষণের (৬) প্রশ্নের উত্তর দেখ।

2-9.3. পরীক্ষণ ৮ (Experiment 8)

জলে দ্রবণীয়, গুঁড়া বা দানা আকারের কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (To determine the specific gravity of a granular solid, soluble in water, using a specific gravity bottle)

তত্ত্ব (Theory) ঃ ঘরের উষ্ণতায় কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব s

$$=\frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তন কঠিনের ওজন } (W_s)}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন } (W_w)}$$

$$=\frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তন কঠিনের ওজন } (W_s)}{\text{সম-আয়তন তরলের ওজন } (W_l)}\times\frac{\text{সম-আয়তন তরলের ওজন } (W_l)}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন } (W_w)}$$

= তরল সাপেক্ষে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব (s_l)

× তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব (s')।

পরীক্ষণীয় কঠিন পদার্থ যে তরলে গলে না এমন কোন তরল সাপেক্ষে এর আপেক্ষিক গুরুত্ব s_l বার করে একে জল সাপেক্ষে ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব s' দিয়ে গুণ করলে নির্ণেয় ফল পাওয়া যাবে।

ধর, শুকনো খালি বোতলের ওজন = W_1 g-wt
বোতল + দানার ওজন = W_2 g-wt
বোতল + দানা + তরলের ওজন = W_3 g-wt
তরল ভরা বোতলের ওজন = W_4 g-wt

এবং জল ভরা বোতলের ওজন $= W_5$ g-wt

$\therefore$ দানার ওজন $= (W_2 - W_1)$ g-wt $= W_s$ g-wt

বোতলের সম-আয়তন তরলের ওজন $= (W_4 - W_1)$ g-wt

এবং বোতলের সম-আয়তন জলের ওজন $= (W_5 - W_1)$ g-wt

সুতরাং তরল যে আয়তন দানা অধিকার করে আছে তার ওজন

$$= (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2) = W_l \text{ (ধরা যাক)}$$

$$\therefore \quad s_l = \frac{W_s}{W_l} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

$$\text{এবং} \quad s' = \frac{W_4 - W_1}{W_5 - W_1}$$

$$\therefore \quad s = s_l \times s' = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \times \frac{W_4 - W_1}{W_5 - W_1}$$

$\therefore$ প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s \times s_t$; $s_t =$ ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

যন্ত্রাদি (Apparatus) ঃ আ. গু. বোতল, দণ্ডতুলা ও বাটখারার বাক্স, জলে দ্রবণীয় কোন কঠিন পদার্থের দানা বা গুঁড়া (খাদ্য লবণ বা চিনি), দানাগুলি গলে না এমন কোন তরল (লবণের ক্ষেত্রে তার্পিন তেল), কাপড় বা ব্লটিং কাগজ।

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the Experiment)**]

(১) থেকে (৪) ঠিক আগের পরিক্ষণের (পরীক্ষণ 7-এর) মত ; কেবল জলের বদলে অন্য তরলটি ব্যবহার করবে। (৫) জল দিয়ে বোতল ভরে ওজন নাও।]

নিরীক্ষা (Observations)।

ঘরের উষ্ণতা (t) $= \cdots {}^\circ c$

ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s_t) = \cdots$

পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	ছিপি সমেত খালি বোতলের ওজন (W_1) g-wt	দানা দিয়ে অংশত পূর্ণ বোতলের ওজন (W_2) g-wt	বোতল + দানা + তরলের ওজন (W_3) g-wt	তরল ভরা বোতলের ওজন (W_4) g-wt	জল ভরা বোতলের ওজন (W_5) g-wt	আঃ গুঃ s	গড় s
1.							
2.							

হিসাব (Calculations) ঃ

$$s=\frac{W_2-W_1}{(W_4-W_1)-(W_3-W_2)}\times\frac{W_4-W_1}{W_5-W_1}$$

ফল (Result) ।

অতএব নির্ণেয় ফল $s\times s_t=\cdots\times\cdots=\cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ।

(১) থেকে (৪) আগের পরীক্ষণের মত ; কেবল জলের বদলে 'প্রদত্ত তরল' লিখবে। (৫) বোতল জল ভরে ওজন নেয়া হল।

সতর্কতা। আগের পরীক্ষণের মত।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) থেকে (৭) আগের পরীক্ষণের মত। (৮) কোন তরল সাপেক্ষে কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলতে কি বোঝায়? (৯) জল সাপেক্ষে ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা থাকলে, জল সাপেক্ষে কঠিন পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব কিভাবে পাওয়া যায়? (১০) আ. গু. বোতলের সাহায্যে প্রদত্ত তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কিভাবে বার করতে পার?

উত্তর। (১) থেকে (৭) প্রশ্নের উত্তরের জন্য আগের পরীক্ষণের প্রশ্নোত্তর দেখ। (৮) (নির্দিষ্ট আয়তন কঠিন পদার্থের ওজন) ÷ (সম-আয়তন তরলের ওজন)। (৯) তত্ত্ব দেখ। (১০) পরীক্ষণ 6 (2-9.1 বিভাগ) দেখ।

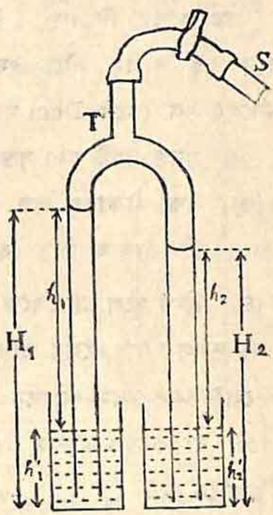
কয়েকটি সাধারণ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

পদার্থ	আপেক্ষিক গুরুত্ব	পদার্থ	আপেক্ষিক গুরুত্ব
অ্যালুমিনিয়াম	2·70	খাদ্য লবণ	2·17
ফটকিরি (Potash Alum)	1·76	বালি	2·63
পিতল	8·4-8·7	স্টীল	7·7-7·9
তামা	8·93	চিনি	1·59
কর্ক	0·22-0·26	ইথাইল অ্যালকোহল	0·792
কাচ (ক্রাউন)	2·5-2·7	গ্লিসারিন	1·26
„ ফ্লিন্ট	2·9-4·5	কেরোসিন	0·80
লোহা (ঢালাই)	7·0-7·7	মেথিলেটেড স্পিরিট	0·83
মার্বল	2·5-2·8	জলপাই তেল	0·91-0·93
প্যারাফিন মোম	0·87-0·93	প্যারাফিন তেল	0·8
পোর্সিলেন	2·2-2·4	তার্পিন তেল	0·87

2-9.4 হেয়ার যন্ত্র (Hare's apparatus)

হেয়ার যন্ত্র (চিত্র 2·13) কার্যত একটি কাচের U-নল উল্টো করে বসান। U-নলের মাঝে আর একটি কাচ নল T যুক্ত আছে। একটি রাবার নলের দু'প্রান্তে T এবং আর একটি কাচ নল S যুক্ত আছে। একটি ক্লিপ দিয়ে রাবার নলটি বন্ধ থাকে। কোন কোন যন্ত্রে U-নলের পিছনে একটি স্কেল আঁটা থাকে।

U-নলের বাহু দুটি লম্বা। নলের দুই প্রান্ত তরলের মধ্যে নিমজ্জিত থাকে। ক্লিপ খুলে এবং S নলে মুখ দিয়ে বায়ু টেনে তরলকে নলে ওঠানো হয়। ক্লিপ বন্ধ করে দিলে তরল যথাস্থানে থেকে যায়। কতখানি তরল U-নলে উঠবে তা নির্ভর করে তরলের ঘনত্ব ও বায়ু টানার পরিমাণের ওপর। এই যন্ত্রের সাহায্যে দুটি তরলের ঘনত্ব তুলনা করা যায় বা একটি তরলের ঘনত্ব জানা থাকলে অপর তরলের ঘনত্ব নির্ণয় করা যায়।



2·13 চিত্র

2-9.5. পরীক্ষণ 9 (Experiment 9)

হেয়ার যন্ত্রের সাহায্যে কোন তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (To determine the specific gravity of given liquid by Hare's apparatus)

তত্ত্ব (Theory) ঃ হেয়ার যন্ত্রে দুটি তরল h_1 এবং h_2 উচ্চতায় থাকলে এবং তরল দুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে s_1 ও s_2 হলে, তরলস্তম্ভ দুটির চাপ সমান হয় অর্থাৎ

$$h_2 s_2 g = h_1 s_1 g$$

$$\text{or,} \quad h_2 s_2 = h_1 s_1$$

$$\therefore \quad s_2 = s_1 \frac{h_1}{h_2}$$

যদি একটি তরল জল হয়, ধর s_1, তাহলে $s_1 = 1$ হবে।

সুতরাং $s_2 = \frac{h_1}{h_2}$. এখানে s_2 ঘরের উষ্ণতায় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

সুতরাং তরলের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s_2 \times s_t$, s_t হচ্ছে ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

যন্ত্রাদি (**apparatus**) ঃ হেয়ারের যন্ত্র, দুটি বীকার, মিটার স্কেল, পরীক্ষণীয় তরল, জল।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) ঃ (১) দুটি বীকার দুই নলের নীচে এমনভাবে বসাও যাতে নলের মুখ বীকারের মধ্যে বীকারের তলা থেকে 2 cm মত ওপরে থাকে।

(২) সমস্ত যন্ত্রটি যথা সম্ভব খাড়া (vertical) রাখার চেষ্টা করবে।

(৩) এক বীকারে জল এবং অন্য বীকারে পরীক্ষনীয় তরল ঢালো, যাতে বীকারের তিনভাগ বা তার বেশী ভরে।

(৪) ক্লিপ খুলে যন্ত্র থেকে মুখ দিয়ে আস্তে আস্তে বায়ু শুষে বের কর। জল বা অন্য তরল যাতে নলের প্রায় মাথার কাছে ওঠে। আস্তে আস্তে বায়ু ছেড়ে দাও ; দুই নলেই তরল নেমে আসবে।

(৫) বারকয়েক এরকম করলেই তরল ওঠবার বা নামবার সময় স্বচ্ছন্দে যাবে, ঝাঁকি খাবে না।

(৬) বায়ু শুষে জল ও তরল যতটা পার ওপরে তোল। লক্ষ্য রাখবে জল বা তরল বাঁকা অংশে না পৌঁছোয়। ক্লিপ এঁটে রবারের নল বন্ধ করে দাও। ঠিক মত বন্ধ না হলে জল ও তরল নেমে আসবে।

(৭) কিছুক্ষণ লক্ষ্য করে দেখ জল ও তরল স্থির আছে কিনা। যদি স্থির থাকে তবে মিটার স্কেলের সাহায্যে তরল স্তম্ভের মাথা ও বীকারের তরলের তলের পাঠ নাও।

(৮) ক্লিপ অল্প আলগা কর। জল ও তরল আস্তে আস্তে নামবে। প্রায় 2 cm. মত নামলে ক্লিপ এঁটে দাও। আবার উচ্চতা মাপ। এভাবে তরল স্তম্ভের প্রায় 2 cm. করে উচ্চতা কমাও এবং মাপ নাও। এই উচ্চতার পাঠ থেকে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

(৯) একটি গ্রাফ কাগজে একদিকে h_1 এবং অন্যদিকে h_2 বিন্দুগুলি বসিয়ে একটি গ্রাফ আঁক। এই গ্রাফ থেকেও আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।]

নিরীক্ষা (**Observations**)

ঘরের উষ্ণতা $(t) = \cdots{}^\circ c$

ঘরের উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s_t) = \cdots$

পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	জল তলের পাঠ		জল স্তম্ভের উচ্চতা $h_1 = H_1 - h_1'$	তরল তলের পাঠ		তরল স্তম্ভের উচ্চতা $h_2 = H_2 - h_2'$	তরলের আঃ গুঃ $S_2 = \frac{h_1}{h_2}$	গড় আঃ গুঃ S_2
	স্তম্ভের মাথা H_1cm	বাঁকারের মধ্যে h_1' cm		স্তম্ভের মাথা H_2cm	বাঁকারের মধ্যে h_2' cm			
1.								
2.								
3.								
ইত্যাদি								

ফল (**Result**) ঃ তরলের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব $= s_2 \times s_t = \cdots$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (**Method followed**) ঃ (১) U-নলের দুই বাহু জল ও তরলের মধ্যে ডোবান হল। যন্ত্রটি খাড়াভাবে বসানো হল।

(২) বায়ু শুষে বার করে জল ও তরলকে বাঁকা অংশের কাছে তোলা হল।

(৩) জল ও তরল স্তম্ভের উচ্চতা মিটার স্কেলের সাহায্যে মাপা হল।

(৪) ক্লিপ আস্তে করে খুলে তরলকে প্রায় 2 cm. মত নামিয়ে আবার পাঠ নেয়া হল।

(৫) এভাবে তরলকে প্রত্যেকবার 2 cm. করে নামিয়ে নামিয়ে পাঠ নেয়া হল।

(৬) জল ও তরলের উচ্চতা থেকে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হল। গ্রাফ এঁকেও আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হল।

সতর্কতা (**Precautions**) ঃ (১) যন্ত্রকে খাড়া ভাবে রাখা প্রয়োজন।

(২) নলে জল ও তরল স্তম্ভের অবতল তলের নীচ অবধি পাঠ নিতে হবে।

(৩) জল ও তরল একসাথে মিশে না যায়, তার দিকে লক্ষ্য রাখা দরকার।

(৪) মিটার স্কেলে পাঠ নেবার সময় স্কেলকে খাড়াভাবে ধরা দরকার।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর ঃ

প্রঃ ১। যদি ইঞ্চিতে মাপা হয় তবে কি আপেক্ষিক গুরুত্বের মান বদলিয়ে যাবে ?

উঃ। না। আপেক্ষিক গুরুত্ব উচ্চতার এককের ওপর নির্ভর করে না।

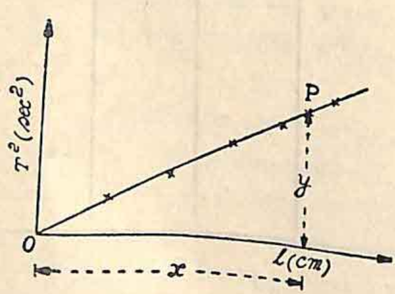
হিসাব (Calculations)।

(i) গ্রাফ থেকে :

l-T^2 গ্রাফের P বিন্দু থেকে পাওয়া গেল $l=\cdots$cm হলে $T^2=\cdots s^2$। অতএব

$$g=4\pi^2\frac{l}{T^2}=4\times9{\cdot}86\times\frac{\cdots\text{cm}}{\cdots\text{s}^2}=\cdots\text{cm/s}^2$$

(ii) গড় l/T^2 থেকে : $g=4\pi^2\frac{l}{T^2}=4\times9{\cdot}86\times\cdots=\cdots\text{cm/s}^2$



2.14 চিত্র (l-T_2 গ্রাফ)

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)। (১) প্রথমে গোলকের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হল।

(২) দোলক পিণ্ডটি সুতার এক মাথায় বেঁধে সুতার অন্য মাথা দুখানা পাতলা পাতের মধ্যে ধরে পাত ক্ল্যাম্পে আঁটা হল। ক্ল্যাম্প লম্বা স্ট্যাণ্ডের মাথায় বাঁধা হল। স্ট্যাণ্ড টেবিলের এক প্রান্তে রেখে দোলক ঝুলিয়ে দেয়া হল। দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়ালে দোলক পিণ্ড টেবিলের বাইরে থেকে অক্লেশে দুলতে পারবে। স্ট্যাণ্ড যাতে উল্টে না পড়ে সে জন্য স্ট্যাণ্ডের পিঁড়িতে (base-এ) খানিকটা ভার দিয়ে রাখা হল।

(৩) দোলক লম্বিত ও স্থির থাকা কালে মিটার স্কেল দিয়ে এর লম্বন বিন্দু থেকে দোলক পিণ্ডের মাথা পর্যন্ত দূরত্ব মাপলাম। এর সঙ্গে গোলকের ব্যাসার্ধ যোগ করে l বার করা হল। দৈর্ঘ্য যথাসম্ভব বড় রাখা হল। (এতে মাপনে শতকরা ত্রুটি কম হয়।)

(৪) দোলকের স্থির অবস্থানে, সুতার সমান্তরালে টেবিলের পাশে চক দিয়ে একটি দাগ দিয়ে নিলাম। দোলক যখন দুলবে তখন এই অবস্থান অতিক্রম করার সময় থেকে সময় মাপা হবে।

(৫) দোলক পিণ্ডকে দোলকের দৈর্ঘ্যর প্রায় 1/12 পরিমাণ পাশের দিকে টেনে দুলতে দেয়া হল। স্টপক্লকের সাহায্যে 25টি পূর্ণ দোলনের সময় দেখা হল। এরকম দুবার করা হল।

(৬) ক্ল্যাম্পের বাইরে সুতাগাছা শক্ত করে ধরে ক্ল্যাম্প একটু আলগা করে দোলকের দৈর্ঘ্য আরও প্রায় 10 cm বাড়ালাম। আবার 1/12 বিস্তারে 25টি করে পূর্ণ দোলনের সময় দুবার দেখা হল। দোলকের দৈর্ঘ্য আগের মত দেখা হল।

(৬) দৈর্ঘ্য মোট…(তিন / পাঁচ) বার বদলিয়ে প্রত্যেকবার একইভাবে দৈর্ঘ্য ও দোলনের সময় দেখা হল।

সতর্কতা। (১) দোলকে হাওয়া না লাগে, অথচ যথেষ্ট আলো আছে এমন জায়গায় দোলক নিয়ে কাজ করা দরকার। হাওয়া থাকলে দোলনে গোলমাল হবে।

(২) দোলনের সময় পিণ্ড না কাঁপে দেখতে হবে। কাঁপলে সঠিক দোলনকাল পাওয়া যাবে না।

(৩) দোলককে ঊর্ধ্বপক্ষে নিজ দৈর্ঘ্যের 1/12 বিস্তারে দোলান যাবে। বিস্তার বেশী হলে দোলনকাল বাড়ে। দোলনকালের সমীকরণ ($T=2\pi\sqrt{l/g}$)পেতে ধরা হয়েছে দোলনের বিস্তার খুব কম। কৌণিক বিস্তার 5° হলে দোলনকালে ত্রুটি হয় প্রায় 900 অংশে এক অংশ। তা সহনীয়। 5° বিস্তারে রৈখিক বিস্তার দৈর্ঘের প্রায় 1/12 হয়।

(৪) দোলনকাল মাপনে ত্রুটি কমাবার জন্য একসঙ্গে 25টি দোলনের সময় দেখা হয়েছে। দোলন-সংখ্যা গণনায় ভুল না হয় সে সম্বন্ধে খুব সতর্ক থাকতে হবে। (T মাপনে 1% ত্রুটি হলে g-তে 2%ত্রুটি হয়। l মাপনে 1% ত্রুটি হলে g-তেও 1% ত্রুটি হয়।)

গ্রাফ আঁকার নির্দেশ। দোলকের দৈর্ঘ্য l 60 cm থেকে 120 cm পর্যন্ত হলে T^2 মোটামুটি 2·40 (s^2) থেকে 4·80 (s^2) পর্যন্ত হবে। এক্ষেত্রে ভুজে (x-axis-এ) 60 থেকে 120 এবং কোটিতে (y-axis-এ) 2·40 থেকে 2·80 পর্যন্ত দেখাতে হবে। গ্রাফ কাগজ নানা সাইজের পাওয়া যায়। তোমার কাগজে কোন্ দিকে মোট কত ঘর আছে দেখ। মনে কর এক অক্ষে 200 ছোট ঘর ও অন্য অক্ষে 250 ছোট ঘর আছে। T^2-এ সূক্ষ্মতা বেশী দরকার। T^2-এর পাল্লা 2·40 (s^2)। কাজেই কাগজে যে দিকে 250 ঘর আছে সে দিকে T^2 ও অন্য দিকে l নেয়া যাবে। l-এর ক্ষেত্রে 60 cm-এর জন্য 200 ঘর পাচ্ছি। অতএব 1 cm=তিন ছোট ঘর নেয়া চলে। সাধারণতঃ, আঁকার জন্য রাশির এক একক=1, 2, 4, 5, 10 ছোট ঘর নেয়া সুবিধার। এক্ষেত্রে আমরা 1 cm=2 ছোট ঘর নিতে পারি। গ্রাফ আঁকতে পুরা কাগাজখানাই ব্যবহার করা ভাল হলেও অসুবিধাজনক একক নিতে নাই।

অন্য অক্ষে (T^2-এর অক্ষ ; y-axis) 250 ছোট ঘরের মধ্যে 2·40 (s^2) দেখাতে হবে। অতএব 1 s^2=100 ছোট ঘর নিতে পার।

মূল বিন্দুকে 0,0 নেওয়া চলবে না। এক্ষেত্রে মূল বিন্দুকে আমরা 50cm ও 2·30 s^2 ধরতে পারি। x-অক্ষে মূলবিন্দু (50 cm) থেকে প্রতি 20 ঘর পর পর 60, 70, 80 ইত্যাদি লিখে রাখা যায়। একইভাবে, y-অক্ষে 10 ছোট ঘরে 0·1 s^2 হয় বলে 10 ঘর পর পর 2·40, 2·50, 2·60 ইত্যাদি লেখা যেতে পারে। l কোন্ অক্ষে এবং T^2 কোন্ অক্ষে ধরা হয়েছে তা অক্ষের পাশে লিখে দেয়া দরকার। কোন্ অক্ষে কত ঘরে এক একক ধরা হয়েছে তা গ্রাফের ফাঁকা জায়গার কোথাও

পরিষ্কার করে লেখা চলে। এ ক্ষেত্রে লেখা যায় [l অক্ষে 2 ছোট ঘর=1 cm ; T^2 অক্ষে 10 ছোট ঘর=0·1 s^2]। গ্রাফের নিচে গ্রাফের নাম দেওয়া যায় l-T^2 গ্রাফ।

গ্রাফের বিন্দুগুলি ক্রস চিহ্ন দিয়ে বোঝাতে পার। 1-7 বিভাগে স্বচ্ছ স্কেলের সাহায্যে সরল রৈখিক গ্রাফ টানবার যে নির্দেশ দেয়া হয়েছে সেই অনুসারে এক্ষেত্রে রেখা টান। গ্রাফের দূরের প্রান্তের দিকে দেখ রেখা কোন ছোট বা বড় ঘরের কোনা দিয়ে গেছে কি না। এ রকম বিন্দু পেলে তাকে P ধরে তার x ও y-এর মান দেখ এবং তা থেকে $x/y=l/T^2$ বার করে এই মান $g=4\pi^2 l/T^2$ সমীকরণে বসিয়ে g বার কর।

যে কোন গ্রাফ আঁকতেই এই রকম নির্দেশে চলতে হবে। সব ক্ষেত্রে গ্রাফ সরল রেখা হবে না, যেমন l-T গ্রাফ। গ্রাফের সাহায্যে ফল গণনা করতে হলে সরল রৈখিক গ্রাফই ব্যবহার করবে। $\sqrt{l}$-T গ্রাফও সরল রেখা হয়। তা নিয়েও কাজ করা চলে।

l-T^2 গ্রাফ মূলবিন্দু ($x=0, y=0$) দিয়ে যায় বলে মূলবিন্দু গ্রাফে থাকলে সরল রেখা টানা সহজ হয়। এ রকম করতে গেলে x-অক্ষে এক ছোট ঘর=1 cm, এবং y-অক্ষে এক ছোট ঘর=0·02s^2 বোঝাতে পারে। এতে x অক্ষে 120 ঘর এবং y অক্ষে 240 ঘর ব্যবহার করা হবে। 1, 2, 4 বা 5 ছোট ঘরকে একক ধরা সুবিধার। কোন ভগ্নাংশ বা 3 বা 7 ঘর একক ধরবে না।

মন্তব্য। এই পরীক্ষার ফল আগে থেকেই জানা থাকায় অনেকের অসাধুতার আশ্রয় নেবার প্রবৃত্তি জাগে। কোন কোন পরীক্ষক বা শিক্ষকের বেশী শুদ্ধ ফলের ওপর ঝোঁক থাকে। এ রকম ঝোঁক অসাধু প্রবৃত্তিতে ইন্ধন জোগায়। স্থুল উপায়ে স্থুল যন্ত্রের সাহায্যে অল্প কয়েকটি মাপনে বেশী শুদ্ধ ফল পাওয়া যায় না। পেলে তা দৈবাৎ পাওয়া ঘটনা বলেই মনে করা উচিত। এক মাপনের ত্রুটি অন্য মাপনের ত্রুটিকে এখানে দৈবাৎ কমিয়েছে বলে ফল শুদ্ধ ফলের কাছে গেছে।

দোলকের দৈর্ঘ্য বেশী, বিস্তার কম এবং দোলনকাল মাপনে যথেষ্ট সতর্ক থাকলে লব্ধ ফল শুদ্ধ ফলের 1%-এর মধ্যে থাকাই সম্ভব। এরকম ফল পেলে তাকে ভালই মনে করা উচিত। ত্রুটির সীমা $\frac{1}{2}$% হলে তা 'অতি ভাল'।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) সরল দোলক কাকে বলে? (২) অভিকর্ষীয় ত্বরণ বলতে কি বোঝায়? (৩) সরল দোলক কিভাবে গঠন করা যায়? (৪) গঠিত দোলকের দৈর্ঘ্য কি ধরা হয়? কেন? (৫) l এবং T, এদের কোন্‌টির মাপনে বেশী সতর্কতা দরকার এবং কেন? (৬) l ও T সংক্রান্ত কি গ্রাফে গ্রাফ সরল রেখা হবে? (৭) গ্রাফ থেকে নির্ণেয় ফল কিভাবে পাবে? (৮) ভাল ফল পেতে দৈর্ঘ্য ও দোলনের বিস্তার কি রকম নেবে? (৯) দৈর্ঘ্য কম এবং বিস্তার বেশীতে দোষ কি?

উত্তর ঃ (১), (৩) ও (৪) 2-10 বিভাগ দেখ। (২) পৃথিবীর টানে ভূপৃষ্ঠের কাছে কোন বস্তু বিনা বাধায় পড়লে তা যে ত্বরণে পড়ে। (৫) T-মাপনে।

'সতর্কতা' অংশের (৪)-এর ব্রাকেটের ভিতরের কথা দেখ। (৬) l-T^2 গ্রাফ ও $\sqrt{l}$-T গ্রাফ। (৭) ওপরের 'গ্রাফ আঁকার নির্দেশ' অংশের চতুর্থ প্যারা দেখ। (৮) দৈর্ঘ্য বেশী ; দোলনের বিস্তার ঊর্ধ্বপক্ষে দৈর্ঘ্যের 1/12। 'সতর্কতা' অংশের (৩) দেখ। (৯) দুই ক্ষেত্রে ফলে ত্রুটির পরিমাণ বাড়ে।

2-11. পরীক্ষণ 11 (Experiment 11)

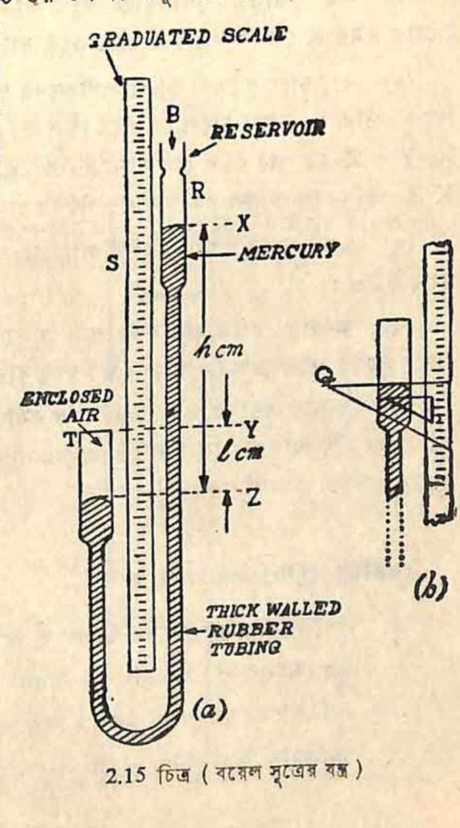
বয়েল সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় করা (To verify Boyle's Law)

তত্ত্ব (Theory)। বয়েল সূত্রে বলে, স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল একই থাকে। নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের একই উষ্ণতায় বিভিন্ন চাপে আয়তন নির্ণয় করে, চাপ ও আয়তনের গুণফল যদি স্থির থাকে, তবে বয়েল সূত্রের যাথার্থ্যতা প্রমাণিত হয়।

[গ্রাফের সাহায্যেও বয়েল সূত্রের যাথার্থ্যতা প্রমাণ করা সম্ভব। P-$1/v$ গ্রাফ, $v-1/P$ গ্রাফ বা $\log p - \log v$ গ্রাফ যদি সরল রেখা হয় তবে বয়েলের সূত্র সত্য।]

যন্ত্রাদি (apparatus)। বয়েল সূত্রের যন্ত্র (Boyle's law apparatus)।

যন্ত্রের বর্ণনা। যন্ত্রের প্রকৃতি 2.15 (a) চিত্রের সাহায্যে বোঝা যাবে। সুষম ছেদের একটি কাচের নল T-তে নির্দিষ্ট ভর শুকনা বায়ু ভরা থাকে। কাচের নলের খোলা মুখে মোটা রবারের নল লাগান। রবারের নলের অন্য প্রান্তে থাকে পারা (mercury)-র আধার (reservoir) R। রবারের নল পুরা এবং পারার আধার আংশিক পারায় ভরা থাকে। পারার এক মাথা Z ও T নলের ওপরের দিক—এই দুই সীমার মধ্যে T নলের বায়ু আটকা থাকে। মিলিমিটারে দাগ কাটা, খাড়া একটি স্কেল S-এর দু পাশ দিয়ে T নল এবং R আধারকে খাড়া ওঠান বা নামান যায়। ওঠা এবং নামার সীমার মধ্যে T এবং R-কে যে কোন জায়গায় আটকিয়ে রাখা যায়।



2.15 চিত্র (বয়েল সূত্রের যন্ত্র)

কোন কোন যন্ত্রে T-র বদলে ইউডিওমিটার নল (Eudiometer tube) থাকে। তাতে আয়তনের দাগ কাটা থাকে। শূন্য দাগ থাকে ওপরের প্রান্তে। কাজেই এর সাহায্যে V সোজাসুজি পাওয়া যায়।

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment) :** (১) পরীক্ষণের প্রথমেই ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুর চাপ ও ঘরের উষ্ণতা দেখে নাও।

(২) T বা R ওপরে বা নীচে নামিয়ে T ও R-এর পারদ তলের লেভেল একই অনুভূমিক তলে রাখ। এই অবস্থায় বদ্ধ নলের মধ্যে চাপ বায়ু চাপের সমান। একটি Set-square-এর সাহায্যে (চিত্র 2.15 *b*) X, Z এবং Y-এর পাঠ (অর্থাৎ R ও T নলে পারদের মাথা ও T নলের ওপরের মাথা) কত তা স্কেল থেকে দেখ। (যদি বদ্ধ নলে আয়তনের দাগ কাটা থাকে তবে X ও Z-এর পাঠ ও গ্যাসের আয়তন দেখ)।

(৩) বায়ু চাপের কম চাপে পরীক্ষণের জন্যে R নল খুব আস্তে আস্তে নীচের দিকে প্রায় 5 cm. মত নামাও এবং X, Y ও Z লেভেলের পাঠ নাও (বা X, Z এবং আয়তন)। বায়ু চাপ থেকে $Z\text{-}X=h$, বাদ দিলে বদ্ধ নলের গ্যাসের ওপর চাপ পাবে।

(৪) এই পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করে আরও তিনটি পাঠ নাও। প্রত্যেক পাঠ নেবার সময় R-কে কমপক্ষে 5 cm. করে নামিও।

(৫) বায়ু চাপের বেশী চাপে পরীক্ষণের জন্য R নল খুব আস্তে আস্তে ওপরের দিকে ওঠাও। বায়ুর চাপে যে পাঠ ছিল তা থেকে অন্তত 5 cm ওপরে তোল এবং X, Y ও Z-এর পাঠ স্কেল থেকে নাও (বা X, Z ও আয়তন)। বায়ু চাপের সঙ্গে $X\text{-}Z=h_2$ যোগ করলে বদ্ধ নলের গ্যাসের ওপর চাপ পাবে।

(৬) একই ভাবে আরও তিনটি পাঠ নাও। প্রত্যেক বার R-কে অন্তত 5 cm করে উঠিও।

(৭) আবার ব্যারমিটারের পাঠ ও ঘরের উষ্ণতা দেখ। এবার প্রত্যেক পর্যবেক্ষণের জন্যে $p\times l$ (বা $p\times v$) মান বার কর।

(৮) x-অক্ষ বরাবর p এবং y- অক্ষ বরাবর l (বা v) ধরে একটি গ্রাফ আঁক। এই গ্রাফ যদি আয়তাকার পরাবৃত্ত (rectaangular hyperbola) হয় তবে বয়েল সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।]

নিরীক্ষা (Observations) :

(i) ব্যারোমিটারে পারদের উচ্চতা ও ঘরের তাপমাত্রা নির্ণয় :

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ=···mm

··· ভার্নিয়ারের ভাগ=···মূল স্কেলের ভাগ

∴ ভার্নিয়ার স্থিরাংক=···mm=···cm.

পর্যবেক্ষণ সময়	মূল স্কেলের পাঠ (M) cm	ভার্নিয়ার পাঠের (v) মান $V=v\times(l.c)$ cm	বায়ুর চাপ $l=M+V$ cm	গড় H cm	ঘরের উষ্ণতা °c	গড় উষ্ণতা °c
পরীক্ষণ আরম্ভের সময়						
পরীক্ষণ শেষে						

(ii) বদ্ধ গ্যাসের দৈর্ঘ্য (বা আয়তন) এবং চাপ নির্ণয় :

যখন বদ্ধ নলে আয়তনের দাগ কাটা থাকে না

পর্যবেক্ষণ চাপ	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পারদ লেভেলের পাঠ (cm) বদ্ধ নলে (c)	খোলা নলে (o)	বদ্ধ নলের মাথার পাঠ (T) cm	বদ্ধ গ্যাসের দৈর্ঘ্য $l=(T-c)$ cm	বায়ুর চাপের বেশী বা কম চাপ $h=c\sim o$ cm	বদ্ধ গ্যাসের ওপর মোট চাপ $p=H\pm h$	($p\times$) এর মান
বায়ু চাপে	1.							
বায়ু চাপের কম চাপে	2. 3. 4.							
বায়ু চাপের বেশী চাপে	5. 6. 7.							

যখন বদ্ধ নলে আয়তনের দাগ কাটা থাকে

পর্যবেক্ষণ চাপ	পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	পারদ লেভেলের পাঠ (cm)		বদ্ধ গ্যাসের আয়তন cm^3	বায়ুর চাপের থেকে কম বা বেশী চাপ $h=c\sim o$ cm	বদ্ধ বায়ুর ওপর মোট চাপ $P=H\pm h$ cm	$(P\times V)$-র মান
		বদ্ধ নলের (c)	খোলা নলের o				
বায়ু চাপে	1.						
বায়ু চাপের কম চাপে	2. 3. 4.						
বায়ু চাপের বেশী চাপে	5. 6. 7.						

সিদ্ধান্ত (Conclusion)। $P\times l$ (বা $P\times v$) গুণফলের মান কার্যত একই হওয়ায় সিদ্ধান্ত করা যায় যে বয়েল সূত্র সত্য।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) প্রথমে বায়ুর চাপ এবং ঘরের উষ্ণতার পাঠ নেয়া হল।

(২) বদ্ধ ও খোলা নলের পারদ একই লেভেলে আনা হল এবং এই অবস্থায় বদ্ধ ও খোলা নলের পারদ লেভেলের পাঠ ও বদ্ধ নলের মাথার পাঠ (বা আয়তন) নেয়া হল। এই পাঠ বায়ু চাপের পাঠ।

(৩) পারদ আধার 5 cm. মত নীচের দিকে নামিয়ে বদ্ধ ও খোলা নলে পারদ লেভেলের পাঠ ও বদ্ধ নলের মাথার (বা আয়তন) পাঠ নেয়া হল।

(৪) এই পদ্ধতিতে প্রত্যেকবার পারদ আধার প্রায় 5 cm. নামিয়ে আরও দুটি পাঠ নেয়া হল।

(৫) এবার পারদ আধার বায়ু চাপে যে লেভেলে ছিল তার চেয়ে 5 cm ওপরে তোলা হল এবং আগের মত পাঠ নেয়া হল। এভাবে 5 cm করে ওপরে তুলে তুলে আরও দুটি পাঠ নেয়া হল।

(৬) আবার বায়ুর চাপ এবং ঘরের উষ্ণতার পাঠ নেয়া হল।

(৭) গ্রাফ কাগজে X-অক্ষ বরাবর P এবং Y-অক্ষ বরাবর V নিয়ে গ্রাফ আঁকা হল। গ্রাফটি একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত হল।

সতর্কতা (Precaution) ঃ (১) পারদ আধার আস্তে আস্তে ওপরে বা নীচে নামান উচিত এবং কিছুক্ষণ অপেক্ষা করে পাঠ নিতে হয়। হঠাৎ আয়তন পরিবর্তন হলে উষ্ণতার পার্থক্য হয়। গ্যাসকে ঘরের উষ্ণতায় আনতে তাই কিছুক্ষণ অপেক্ষা করতে হবে।

(২) আবদ্ধ গ্যাসটি শুষ্ক হওয়া উচিত। কারণ আর্দ্র গ্যাস বয়েল সূত্র মানে না।

মন্তব্য। এক্ষেত্রে P—1/V গ্রাফ সরল রেখা হবে। পরীক্ষণ 10-এর নির্দেশ অনুসারে P—1/V গ্রাফ এঁকে দেখ তা সরল হয় কি না, এবং গ্রাফ 0,0 মূল বিন্দু দিয়ে যায় কি না। গেলে PV গুণফল সমান বোঝাবে।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) বয়েল সূত্রটি কি ? (২) উষ্ণতা বাড়লে বা বায়ুর পরিমাণ বাড়লে PV গুণফলে কি পরিবর্তন হবে ? (৩) বায়ুর আয়তন V না নিয়ে বায়ুনলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নিয়ে কাজ করছ কেন ? (৪) কোন্ ক্ষেত্রে বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী, কোন্ ক্ষেত্রে কম ? (৫) P বলতে বায়ু যে চাপ দেয় তা বোঝায়, না বায়ুর ওপরে যে চাপ প্রযুক্ত থাকে তা বোঝায় ? (৬) বায়ুতে জলীয় বাষ্প থাকলে কোন দোষ হয় ? (৭) নল বা পারাপাত্র আস্তে আস্তে ওঠান নামান এবং পরে মাপনের আগে কয়েক মিনিট দেরী করা দরকার কেন ? (৮) বয়েল সূত্র কি কেবল বায়ুতে প্রযোজ্য ?

উত্তর ঃ (১) 'তত্ত্ব' দেখ। (২) দুই ক্ষেত্রেই গুণফল বেশী হবে। উষ্ণতা বাড়লে গুণফল বায়ুর 'নিরপেক্ষ উষ্ণতা' (Absolute temperature)-এর সমানুপাতে বাড়ে। বায়ুর ভর বাড়লে গুণফল ভরের অনুপাতে বাড়ে। (৩) নলের প্রস্থচ্ছেদ ৫ সুষম হলে দৈর্ঘ্য ও আয়তন সমানুপাতিক, কারণ V=l৫। নল যথাসম্ভব সুষম রাখা হয়। (৪) পারাপাত্রে পারার লেভ্‌লে বায়ুনলে পারার লেভ্‌লের চেয়ে ওপরে থাকলে বায়ুতে চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী ; নিচে থাকলে কম। (উদস্থিতিবিদ্যায় বলা আছে তরল দিয়ে সংযুক্ত দুই পাত্রে তরলের একই অনুভূমিক তলে চাপ সমান।) (৫) বায়ু যে চাপ দেয় এবং বায়ুতে প্রযুক্ত চাপ, দুইই সমান। সাধারণতঃ বায়ুচাপ বলতে বায়ু যে চাপ দেয় তাই বোঝায়। (৬) জলীয় বাষ্প বয়েল সূত্র ঠিক মত মানে না, বিশেষ করে বায়ু যদি সংপৃক্তির (saturation এর) কাছাকাছি থাকে। চাপ বেশী দিলে আর্দ্র বায়ুর আয়তন বয়েল সূত্রের আয়তনের চেয়ে বেশী কমবে। (৭) 'পরীক্ষণের নির্দেশ'-এ 'সতর্কতা' অংশ দেখ। (৮) না ; সকল গ্যাসেই প্রযোজ্য।

2-12. ইয়ং গুণাংক (Young's modulus)

তার লম্বালম্বি টানলে দৈর্ঘ্য বাড়ে। টান একটা সীমা না ছাড়ালে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি টানের সমানুপাতিক হয়। এই সীমাকে স্থিতিস্থাপক সীমা (Elastic limit) বলে। এ তারের পদার্থ ও প্রস্থচ্ছেদের ওপর নির্ভর করে।

নির্দিষ্ট কোন প্রযুক্ত টানে (W g-wt ওজনে) যে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l' cm হয় তাকে আমরা 'অনুদৈর্ঘ্য-বিকার' (Longitudinal deformation) বলতে পারি। অনুদৈর্ঘ্য-বিকারকে তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য l cm দিয়ে ভাগ করলে W g-wt ওজনে তারের প্রতি সেন্টিমিটারের কতটা দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হল তা পাওয়া যায়। l'(cm)/l(cm) রশিটিকে **অনুদৈর্ঘ্য ততি বা অনুদৈর্ঘ্য বিকারাংক (Longitudinal strain)** বলে। ততি বা বিকারাংক সংখ্যামাত্র ; এর কোন একক নাই। তারের প্রস্থচ্ছেদ S cm^2 এবং অভিকর্ষীয় ত্বরণ g cm/s^2 হলে S cm^2 প্রস্থচ্ছেদের অভিলম্বে Wg dyn টান ক্রিয়া করে। অতএব তারের প্রস্থচ্ছেদের প্রতি 1 cm^2 তলের অভিলম্বে টান Wg/S dyn/cm^2। একে **টানের পীড়ন বা অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন (Longitudinal stress)** বলে। অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য ততি বা অনুদৈর্ঘ্য বিকারাংকের অনুপাতকে **ইয়ং গুণাংক (Young's modulus)** বলে। E দিয়ে ইয়ং গুণাংক বোঝালে E=(Wg/S dyn/cm^2)/(l'/l)। এই ফল সিজিএস এককে প্রকাশিত।

2-12.1 পরীক্ষণ 12 (Experiment 12)

তারের ইয়ং গুণাংক নির্ণয় করা (To determine Young's modulus of a wire)

তত্ত্ব (Theory)। খাড়া ভাবে ঝুলান l cm দৈর্ঘ্যের ও সুষম S cm^2 প্রস্থচ্ছেদের একগাছা তারের নিচের প্রান্তে W g-wt ভার ঝোলালে যদি তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l' cm হয় তা হলে তারে টানের বিকারাংক (strain)=l'/l। টানের পীড়ন (stress)=W g-wt/S cm^2=(Wg/S) dyn/cm^2 (g cm/s^2=অভিকর্ষীয় ত্বরণ)। এ ক্ষেত্রে তারের পদার্থের

$$\text{ইয়ং গুণাংক} = \frac{\text{টানের পীড়ন (Longitudinal stress)}}{\text{টানের বিকারাংক (Longitudinal strain)}}$$

$$= \frac{(Wg/S)\ \text{dyn/cm}^2}{l'\ \text{cm}/l\ \text{cm}} = \frac{Wg}{S}\cdot\frac{l}{l'}\,\text{dyn/cm}^2$$

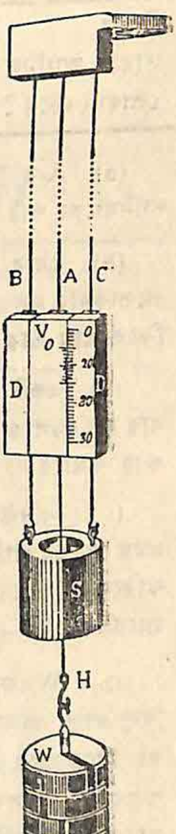
হুকের সূত্রে বলে, 'বলপ্রয়োগে কোন বস্তু বিকৃত হলে, বিকার (deformation) একটা সীমা না ছাড়ালে, বিকার প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক হবে।

ইয়ং গুণাংক নির্ণয়ের পরীক্ষণে হুক সূত্রের সত্যতা যাচাই করা যায়। W-l' গ্রাফ সরলরেখা হলে এবং মূল বিন্দু দিয়ে গেলে বোঝা যায় বিকার (এখানে দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি l') প্রযুক্ত বল W-র আনুপাতিক।

যন্ত্রাদি (Apparatus)। ইয়ং গুণাংক নির্ণয়ের যন্ত্র ; কতকগুলি সমান ভার (ওজনে 500g ও ঘাট কাটা (slotted) হলে ভাল) ; তারের দৈর্ঘ্য মাপবার হাল্কা সোজা, লম্বা লাঠি ও মিটার স্কেল ; স্ক্রু গেজ।

যন্ত্রের বর্ণনা। (ইয়ং গুণাংক নির্ণয়ের যন্ত্র বিভিন্ন গঠনের হতে পারে। দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি কম বলে এই বৃদ্ধি মাপিতে ভার্নিয়ার স্কেল বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার হয়। ভার্নিয়ার স্কেল লাগান যন্ত্র ব্যবহার করা স্ক্রু গেজ লাগান যন্ত্র ব্যবহারের চেয়ে প্রথম-শিক্ষার্থীর পক্ষে সহজ হবে। আমরা ভার্নিয়ার স্কেল লাগান যন্ত্রের বর্ণনা করব।)

2·16 চিত্রে ইয়ং গুণাংক নির্ণয়ের ভার্নিয়ার স্কেল যুক্ত সরল একটি যন্ত্র দেখান হয়েছে। পরীক্ষণীয় তার (A) ঘরের কোন আড়া বা কড়ি থেকে ঝোলান থাকে। এর নিচের প্রান্তে ভার্নিয়ার স্কেল (V) আঁটা থাকে। একই পদার্থের আর দুগাছা (কোন ক্ষেত্রে একগাছা) সমান দৈর্ঘ্যের তার একই জায়গা থেকে একে অন্যের সমান্তরালে ঝোলান থাকে। মূল স্কেল এই তার দুগাছা (B, C)-র সঙ্গে লাগান। ভারী একটি আংটা (S) B C তার থেকে ঝোলান থাকায় B, C টান টান থাকে। মূল স্কেলও এতে একই জায়গায় থাকে, সরে না। B, C-তে ঝোলান যে ধাতু-পাত D-তে মূল স্কেল দাগান, তাতে V আকারে কাটা দুটি খাঁজের মধ্য দিয়ে ভার্নিয়ার অংশ ঠিক খাড়া ভাবে ওঠানামা করতে পারে। ভার্নিয়ারের নিচের দিকে তারে ঝোলান একটি হুক (H) থাকে। তারে টান বাড়াবার ওজনগুলি বসানর স্ট্যাণ্ড এই হুকে আটকান থাকে।



2·16 চিত্র (ইয়ং গুণাংক নির্ণয়ের যন্ত্র)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)

(১) পরীক্ষণীয় তার যাতে সোজা এবং টান টান থাকে (অর্থাৎ এর কোন অংশে যাতে একটুও বাঁক (kink) না থাকে) সে জন্য গোড়াতেই তারে লাগান নিচের পাত্রে 1 কি 2 kg ভার রেখে দেবে। ভার বৃদ্ধি ধরতে এই ভার হিসেবে নেবে না। খাতায় এই ভারকে 'নিষ্ক্রিয় ভার' (Dead load) বলে লিখে রাখা ভাল।

(২) লম্বা লাঠি ও মিটার স্কেলের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য (l cm) মাপ। ওপরে আঁটা প্রান্ত থেকে ভার্নিয়ারে আঁটা প্রান্ত পর্যন্ত দূরত্বই l।

(৩) একটি স্ক্রু গেজের সাহায্যে অন্তত তিন জায়গায় তারের ব্যাস আড়াআড়ি দিকে নাও। (ছয়টি পাঠ পাবে।) গড় ব্যাস d থেকে প্রস্থচ্ছেদ $S=\frac{1}{4}\pi d^2=0{\cdot}785d^2$ বার কর।

(৪) পরীক্ষণীয় তারের (A) অসহপীড়ন কত (Breaking stress) তা জেনে নাও। অসহপীড়নকে তারের প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে গুণ করলে অসহভার পাবে। এর অর্ধেকের বেশী টান A-তে প্রয়োগ করবে না।

তার ছেঁড়ার ভার (অসহ পীড়ন) [kg-wt/mm² এককে]

পিতল	35-55	স্টীল (সাধারণ)	112
তামা (অ্যানিল করা)	28 31	„ (পান দেয়া)	155
লোহা (টেনে তৈরী)	54-62	„ (পিয়ানো তার)	186-233

(৫) A-র নিচে লাগান H পাত্রে নিক্রিয় ভার বসান থাকা অবস্থায় ভার্নিয়ারের পাঠ কত দেখে লিখে রাখ। একে 0-ভারে দৈর্ঘ্যের পাঠ ধরবে।

(৬) এবার তারে আধ কি এক কিলোগ্রাম করে ভার বাড়িয়ে যাও এবং প্রত্যেকবার মূল স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ দেখ। মোট পাঁচবার (অর্থাৎ $2\frac{1}{2}$ কি 5 কিলোগ্রাম ভার বাড়ান পর্যন্ত) এরকম কর।

(৭) একটি একটি করে $\frac{1}{2}$ কি 1 কিলোগ্রাম ভার কমাতে থাক এবং প্রত্যেক বার মূল স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ নাও। এই ভাবে নিক্রিয় ভার পর্যন্ত ফিরে এস। আর কমাবে না।

(৮) নির্দিষ্ট ভারে (ধর W g-wt-এ) ভার বাড়াবার সময় এবং ভার কমাবার সময় যে দুই পাঠ পেয়েছ তাদের গড় মান নাও। আদিপাঠ এ থেকে বিয়োগ করিলে W ভারের জন্য দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l' পাবে। এ ভাবে তুমি পাঁচজোড়া W, l' পাঠ পাবে।

(৯) W-কে ভুজ (x-axis) এবং l'-কে কোটি (y-axis) ধরে এই পাঁচটি বিন্দু গ্রাফ কাগজে বসাও। বিন্দুগুলি রেখায় থাকবে এবং রেখা 0,0 মূলবিন্দুর মধ্য দিয়ে যাবে। 2—10.1 বিভাগে পরীক্ষণ 10-এ গ্রাফ আঁকার যে বিশদ নির্দেশ আছে তা অনুসরণ করে W-l' গ্রাফ আঁক। তাতে 0,0 বিন্দু হবে মূল বিন্দু। গ্রাফের দূরস্থ সুবিধা মত কোন বিন্দু থেকে W ও l'-এর মান নিয়ে 2-12.1 তত্ত্বের সমীকরণে বসাও। S, l এবং g (=980 cm/s²) জানা থাকায় E পাওয়া যাবে। d রশিটির মানে হয়ত দুটি সার্থক সংখ্যার বেশী থাকবে না, এবং হয়ত l'-এও নয়। অতএব গণনালব্ধ ফলে দুটির বেশী সার্থক সংখ্যা রেখো না।]

নিরীক্ষা (Observations) ও হিসাব (Calculations) ঃ

পরীক্ষণীয় তার সোজা রাখবার জন্য পাত্রে নিষ্ক্রিয় ভার (Dead load) = ··· ···kg-wt

পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য = ···cm (l)

স্ক্রু-গেজের পিচ (p) = ···mm ; বৃত্ত স্কেলের ভাগের সংখ্যা = ···(N)

স্ক্রু-গেজের অল্পতমাংক (Least count) = p/N = ···mm

" " শূন্য ত্রুটি = ···mm (যোগ / বিয়োগ করতে হবে) (না থাকলে 0 (শূন্য) লিখে রাখ।)

তারের ব্যাস। (a) ও (b) **পাঠ পরস্পরের আড়াআড়ি**

ক্রমিক সংখ্যা	রৈখিক স্কেল পাঠ mm	বৃত্ত স্কেলের পাঠের মান mm	আপাত ব্যাস (mm)
1. (a)			⋮
(b)			⋮
2. (a)			⋮
(b)			⋮
3. (a)			⋮
(b)			⋮

আপাত ব্যাসের গড় মান = ···mm

নির্ণেয় ব্যাস = আপাত ব্যাসের গড় মান + শূন্য ত্রুটি = ···cm(d)

∴ **তারের প্রস্থচ্ছেদ** $= \frac{1}{4}\pi d^2 = 0{\cdot}785 d^2 = \cdots \text{cm}^2$

যে টানে তার ছিঁড়বে (অসহ পীড়ন) = ···(জেনে নেয়া) kg/cm^2

∴ অসহ ভার = অসহপীড়ন × তারের প্রস্থচ্ছেদ = ···kg-wt

∴ তারে যে পর্যন্ত ভার প্রয়োগ করা যায় = অসহ ভার/2 = ···kg-wt

ভার-দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি সরণী

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	নিষ্ক্রিয় ভারের ওপর প্রযুক্ত ভার	স্কেলের পাঠ যখন ভার বাড়ান হচ্ছে			স্কেলের পাঠ যখন ভার কমান হচ্ছে			গড় পাঠ	দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি (l)
		মূল স্কেল	ভার্নিয়ার পাঠের মান	মোট	মূল স্কেল	ভার্নিয়ার পাঠের মান	মোট		
	kg-wt	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1.	0							...(a)	(a − a)
2.	1							...(b)	...(b − a)
3.	2							...(c)	...(c − a)
⋮ ইত্যাদি	⋮								

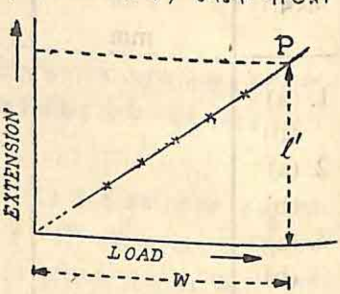
ফল (Result) ঃ $W-l'$ গ্রাফের P বিন্দু (2.17 চিত্র) থেকে পাওয়া গেল $W = \cdots$ kg-wt হলে $l' = \cdots$ cm ।

$g = 980\ cm/s^2$ ধরে ব্যবহার্য সমীকরণে প্রয়োজনীয় মানগুলি বসিয়ে পাই

$$E = \frac{\cdots \text{kg-wt } (W)}{\cdots cm^2\ (S)} \cdot \frac{\cdots cm\ (l)}{\cdots cm\ (l')}$$

$$= \frac{W \times 1000 \times 980\ dyn}{S\ cm^2} \cdot \frac{l\ cm}{l'\ cm}$$

$$= \cdots dyn/cm^2.$$



2.17 চিত্র (W-l' গ্রাফ)

হুক সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় ঃ ভার-দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি (load-extension) গ্রাফ সরলরেখা হওয়াতে এবং রেখা 0, 0 বিন্দু দিয়ে যাওয়াতে সিদ্ধান্ত করা যায় দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ভারের আনুপাতিক, অর্থাৎ বিকার পীড়নের আনুপাতিক। বিকার স্থিতিস্থাপক সীমা ছাড়িয়ে যায়নি তা আগেই দেখে নেয়া হয়েছিল। অতএব হুকের সূত্রের যাথার্থ্য প্রমাণিত হল।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ।

(১) পরীক্ষণীয় তার টান টান রাখার জন্য এর নিচের পাত্রে 2 kg নিষ্ক্রিয় ভার রাখা হল। টান হিসাব করতে এই ভার গণনায় নেয়া হবে না।

(২) তারের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ মাপা (বা জেনে নেয়া) হল।

(৩) অসহপীড়ন জেনে নিয়ে অসহভার নির্ণয় করা হল। এর অর্ধেকের বেশী টান তারে প্রয়োগ করা হবে না, কারণ তাতে ভার স্থিতিস্থাপক সীমা ছাড়িয়ে যেতে পারে।

(৪) নিষ্ক্রয় ভার পাত্রে থাকা কালে মূল স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ দেখা হল। এ পাঠ শূন্য ভারের (W = 0র)।

(৫) প্রত্যেক বার তারে আধ কিলোগ্র্যাম করে টান বাড়িয়ে নূতন পাঠ দেখা হল। এই পরিমাণ করে ভার পাঁচবার বাড়ান হল এবং 2·5 kg-wt পর্যন্ত ভারে মূলে স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ দেখা হল। ($\frac{1}{2}$ kg-র বদলে 1 kg হতে পারে।)

(৬) প্রত্যেকবার আধ কিলোগ্র্যাম করে ভার কমিয়ে আবার পাঠগুলি দেখা হল। এই ভাবে নিষ্ক্রিয় ভার অবধি আসা হল।

(৭) ভার বাড়ার সময় ও ভার কমার সময় একই ভারে যে দুটি পাঠ পাওয়া গিয়েছে তাদের গড় মান থেকে প্রথম পাঠ (0-ভার) বাদ দিয়ে ঐ ভারে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি পাওয়া গেল।

(৮) W-l' গ্রাফ টেনে তা থেকে সুবিধা মত W ও l'-এর মান নিয়ে প্রযোজ্য সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে নির্ণেয় ইয়ং গুণাংক E বার করা হল।

সতর্কতা। (১) পরীক্ষণীয় তার সোজা থাকবে। সেজন্য প্রথমেই তারকে কিছুটা টানে রাখতে হবে। এ টান হিসাবে নেয়া হবে না।

(২) মোট ভার স্থিতিস্থাপক সীমা না ছাড়ায় তা দেখতে হবে। যে টানে তার ছেঁড়ে, টান তার অর্ধেকের মধ্যে থাকলে স্থিতিস্থাপক সীমার ভিতরেই থাকবে।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) ইয়ং গুণাংক কাকে বলে? এ কিসের ওপর নির্ভর করে? সিজিএস পদ্ধতিতে এ কি এককে প্রকাশিত হয়? (২) স্থিতিস্থাপক সীমা কাকে বলে? (৩) টানের পীড়ন ও টানের ততি বা বিকারাংক কাকে বলে? কোনটি কি এককে প্রকাশ করা হয়? (৪) পরীক্ষণীয় তার ছাড়া একই পদার্থের অন্য তার থাকা দরকার হয় কেন? (৫) 'নিষ্ক্রিয় ভার' (Dead load) কি? তা দেয়া হয় কেন? (৬) ভার বাড়াবার সময় এবং কমাবার সময় দুবারই পাঠ নিচ্ছ কেন? একবার নিলে ক্ষতি কি হত? (৭) গ্রাফ কিভাকে আঁকলে এবং তা থেকে W ও l' কিভাবে পেলে বুঝিয়ে দাও। (৮) হুকের সূত্র কি? (৯) পীড়ন ও ততি বলতে কি বোঝ?

উত্তর: (১) 'তত্ত্ব' দেখ। পদার্থের ওপর এবং অল্প পরিমাণে উষ্ণতার ওপর। dyn/cm^2 এককে। (২) কোন বস্তুকে বল প্রয়োগে বিকৃত করলে বল সরিয়ে নিলে বিকারও সাধারণত দূর হয়। কিন্তু প্রযুক্ত বল একটা সীমা

ছাড়ালে, তা সরিয়ে নিলেও কিছু স্থায়ী বিকৃতি থেকে যায়। বলের যে চরম মান পর্যন্ত বল সরিয়ে নিলে বিকারও থাকে না, তাকে স্থিতিস্থাপক সীমা বলে। (৩) 2-12 বিভাগ দেখ। পীড়ন dyn/cm² এককে ; তত্তি সংখ্যামাত্র, এর একক নাই। (৪) ঘরের উষ্ণতা বদলালে তারের দৈর্ঘ্যও বদলাবে। এর শুদ্ধির জন্য অন্য তার গাছা ব্যবহার করা হয়, কারণ উষ্ণতা পরিবর্তনে এরও দৈর্ঘ্য-পরিবর্তন মূল তারের সমান হয়। তাতে টানের জন্য দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি অপরিবর্তিত থাকে। (৫) তার গাছা সোজা রাখার জন্য 'নিষ্ক্রিয় ভার' দিয়ে রাখা হয়। তারের কোথাও একটু বাঁক (kink) থাকলে টানে বাঁকা অংশ সোজা হয় এবং টানের জন্য দৈর্ঘ্যবৃদ্ধিও হয়। কাজেই বাঁক থাকলে তা দূর করে না নিলে মাপন ভুল হবে। (৬) মাপনে ত্রুটি কমাতে। ভার্নিয়ার মূল স্কেলের গায় একটু এঁটে থাকতেও পারে। ঐভাবে দুবার পাঠ নেয়ায় এই ত্রুটি দূর হয়। (৭) 2-10. বিভাগে গ্রাফ আঁকার বিশদ নির্দেশ দেয়া আছে। সেই নির্দেশ অনুসারে এখানে গ্রাফ আঁকা হয়ে থাকলে তা বুঝিয়ে বল। এ গ্রাফ $W=0$, $l'=0$ বিন্দুর মধ্য দিয়ে যাবে বলে 0,0 বিন্দু গ্রাফে থাকবে। (৮) তত্ত্ব দেখ। (৯) 2-12 দেখ।

ইয়ং গুণাংক (dyn/cm² এককে)

অ্যালুমিনিয়াম	$7{\cdot}05\times10^{11}$	স্টীল	$20\text{-}21\times10^{11}$
পিতল	$9{\cdot}7\text{-}10{\cdot}2$ „	প্লাসটিক	$0{\cdot}14\text{-}1{\cdot}1$ „
তামা	$10{\cdot}5\text{-}13{\cdot}0$ „	রবার	$0{\cdot}15\text{-}0{\cdot}5\times10^{8}$

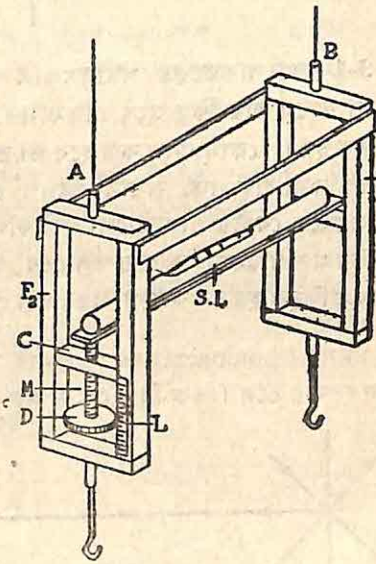
2-12·2. মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার করে ইয়ং গুণাংক নির্ণয় (**To determine Young's modulus using a micrometer screw**)।

দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি মাপনে ভার্নিয়ার ব্যবহার না করে অনেকে মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার করা পছন্দ করেন। এ-রকম স্ক্রু লাগান যন্ত্রকে সার্লের যন্ত্র (Searle's apparatus) বলে। যন্ত্রটি 2·18 চিত্রে দেখান হয়েছে। যন্ত্রের M সূক্ষ্ম থাকের (pitch-এর) স্ক্রু। এর নিচের মাথায় একখানা গোল চাকতি (D) লাগান। D-এর গোল পাশ (পরিধি) 50 বা 100 সমান ভাগে ভাগ করা। L একটি রৈখিক স্কেল ; মিলিমিটারে দাগান এবং স্ক্রুর সমান্তরাল। D ঘোরালে পেঁচকাটা ধাতুখণ্ড C-র ভিতর দিয়ে M ওঠে বা নামে। D-র পরিধি L-কে স্পর্শ করায় D-র সঠিক অবস্থান L-এর রৈখিক স্কেল ও D-র গোল স্কেল (circular scale) থেকে পাওয়া যায়। [স্ক্রু গেজ ও স্ফেরোমিটারের সঙ্গে মাইক্রোমিটার স্ক্রু তুলনা করে এদের সাদৃশ্য বুঝতে চেষ্টা কর।]

এই যন্ত্রের সঙ্গে একটি স্পিরিট লেভ্ল্ (Spirit level,S.L) লাগান থাকে। স্পিরিট লেভ্ল্ একটি ওপর দিকে উত্তল, বাঁকান কাচের নল। এতে অ্যালকোহল ভরা, কিন্তু অ্যালকোহলের সঙ্গে একটি বায়ুর বুদ্বুদ থাকে। কাচের নলটি একটি

ধাতুর নলে ভরা থাকে। ধাতুর নলের নিচের দিক সমতল। অনুভূমিক তলে বসালে বায়ুর বুদ্‌বুদ কাচের নলের উত্তল অংশের ঠিক মাঝখানে আসে। সেখানে নলের আড়াআড়ি একটি দাগ কাটা। এই দাগ বায়ুর বুদ্‌বুদের মাঝখানে আসলে বোঝাবে স্পিরিট লেভ্‌লের নিচের তল অনুভূমিক।

সার্লের যন্ত্রে পরীক্ষণীয় তার (A ; 2.18 চিত্র) ছাড়া একই পদার্থের আর এক-গাছা তার B-র দরকার হয়। দুই তারের ওপরের প্রান্ত কড়ি বা আড়ায় শক্ত করে আঁটা। নিচের প্রান্তে মাইক্রোমিটার স্ক্রু (M) ও স্পিরিট লেভ্‌ল্ (S. L) সমেত দু'খানা ফ্রেম F_1, F_2 দুই তারে আঁটা। M থাকে A-র নিচে। স্পিরিট লেভ্‌লের এক মাথা A-র অংশে ও অন্য মাথা B-র অংশে লাগান। F_1, F_2 ফ্রেম দু'খানার মধ্যে আপেক্ষিক সরণ হতে পারে না। D ঘুরিয়ে S.L-এর এক প্রান্ত উঁচু-নিচু করে স্পিরিট লেভ্‌ল্ ঠিক অনুভূমিক করা যায়। A-তে লাগান পাত্রে বিভিন্ন ভার বসালে A লম্বায় বিভিন্ন পরিমাণ বাড়ে। D ঘুরিয়ে S. L অনুভূমিক করে L ও D-র পাঠ দেখতে হয়। A-তে বিভিন্ন ভার W ঝুলিয়ে মাইক্রোমিটারের (L ও D-র) পাঠ নিয়ে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হিসাব করা হয়। B-তার নির্দিষ্ট ভারে টান টান রাখা হয়।



2.18 চিত্র (সার্লের যন্ত্র)

[সার্লের যন্ত্র আগের যন্ত্রের তুলনায় ছাত্রদের কাছে জটিল মনে হবে। কিন্তু কোথাও যদি তাদের এই যন্ত্র ব্যবহার করতে হয় তা হলে মাইক্রোমিটার স্ক্রু ও স্পিরিট লেভ্‌লের ক্রিয়া, এবং এদের কি ভাবে ব্যবহার করতে হবে তা বুঝিয়ে দেয়া দরকার। 'কার্যবিবরণী' লেখা (Write up) 2-12.1 বিভাগের 12 পরীক্ষণের মতই হবে। কেবল 'ভার্নিয়ার'-এর বদলে 'মাইক্রোমিটার,' 'ভার্নিয়ার স্থিরাংকের' বদলে 'মাইক্রোমিটারের অল্পতমাংক' (Least count) লিখতে হবে। পাঠ নেবার আগে, মাইক্রোমিটারের চাকতি ঘুরিয়ে স্পিরিট লেভ্‌ল অনুভূমিক করে 'মাইক্রোমিটারের পাঠ নেয়া হল' লিখতে হবে।]

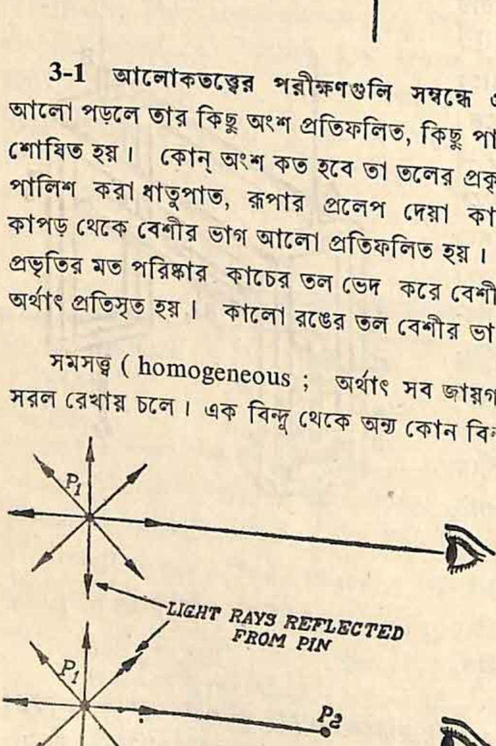
প্রাথমিক স্তরে ছাত্রদের সার্লের যন্ত্র ব্যবহার করতে না বলাই ভাল। জটিলতার জন্য তাদের মনে একটা ভয় ঢুকে থাকবে। তা বাঞ্ছনীয় নয়।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

আলোক (LIGHT)

3-1 আলোকতত্ত্বের পরীক্ষণগুলি সম্বন্ধে প্রারম্ভিক মন্তব্য। কোন তলে আলো পড়লে তার কিছু অংশ প্রতিফলিত, কিছু পারগত (transmitted) ও কিছু শোষিত হয়। কোন্ অংশ কত হবে তা তলের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। ভাল পালিশ করা ধাতুপাত, রূপার প্রলেপ দেয়া কাচের আয়না, সাদা কাগজ বা কাপড় থেকে বেশীর ভাগ আলো প্রতিফলিত হয়। কাচের পাত, প্রিজম্, লেন্স্ প্রভৃতির মত পরিষ্কার কাচের তল ভেদ করে বেশীর ভাগ আলো পার হয়ে যায়, অর্থাৎ প্রতিসৃত হয়। কালো রঙের তল বেশীর ভাগ আলো শোষণ করে।

সমসত্ত্ব (homogeneous ; অর্থাৎ সব জায়গা একই রকম) মাধ্যমে আলো সরল রেখায় চলে। এক বিন্দু থেকে অন্য কোন বিন্দুতে আলো যে পথে যায় তাকে আলোক রশ্মি (**Ray**) বলে। 'আলোক কিরণ' বা 'রশ্মিগুচ্ছ' (bundle বা beam of rays) বলতে এক গোছা রশ্মি বোঝায়। পরিসরে কম হলে রশ্মিগুচ্ছ 'সরু'। Pencil of rays বলতে সরু রশ্মিগুচ্ছ বোঝায়। আলোক কিরণ বা রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি সমান্তরাল হলে তাকে 'সমান্তরাল কিরণ' (parallel beam of rays), রশ্মিগুলির গতি একই বিন্দু অভিমুখে হলে সেরকম কিরণকে 'অভিসারী কিরণ' (convergent beam), এবং রশ্মিগুলি একই বিন্দু থেকে বেরিয়ে আসলে সেরকম রশ্মিগুচ্ছকে 'অপসারী কিরণ' (divergent beam) বলে। আলোর গতিমুখ রশ্মিতে তীরচিহ্ন দিয়ে দেখান হয়।



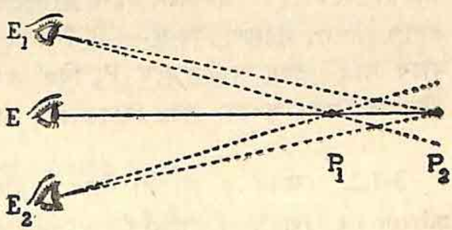
3.1 চিত্র (আলোক রশ্মি)

রশ্মি আঁকা। কোন পরীক্ষণে আলোকরশ্মি বোঝাতে হলে প্রাথমিক স্তরে পিনের সাহায্যে তা করা হয়। ধর, খোলা আলোয় কোথাও একটি পিন (P_1, 3.1, ওপরের চিত্র) পোঁতা হল। এর গা থেকে প্রতিফলিত আলোয় একে দেখা যায়। আর একটি পিন P_2 যদি এমন ভাবে রাখা যায় যে P_2 পিন P_1 পিনকে দৃষ্টির আড়ালে রাখে (3.1, নিচের চিত্র), তা হলে বোঝা যায় যে যে আলোকরশ্মির সাহায্যে প্রথমে P_1-কে দেখা যাচ্ছিল P_2 তাকে আটকিয়েছে। অতএব $P_1 P_2$ রেখা P_1 থেকে বার হওয়া $P_1 P_2$ রশ্মি নির্দেশ করে।

পিনের সাহায্যে পরীক্ষা খোলা জানালার কাছে করা ভাল ; এতে আলো বেশী পাওয়া যায়। পিনের গা সাদা বা হলদে রং করে নিলে পিন বেশী স্পষ্ট দেখা যায়। মোটা পিনের চেয়ে সরু পিন রশ্মি নির্দেশের কাজে ভাল।

লম্বন (Parallax)। আলোক সংক্রান্ত পরীক্ষায় বিম্বের অবস্থান বের করতে সাধারণত 'লম্বন' (parallax)-এর সাহায্য নেয়া হয়। লম্বন কি, এবং তা কি ভাবে প্রয়োগ করা যায়, দেখা যাক।

3.2 চিত্রে P_1, P_2 পরস্পর থেকে কিছুদূরে পোঁতা দুটি খাড়া পিন। $P_1 P_2$ রেখায় তাকালে তারা একই জায়গায় কি দূরে তা বোঝা যায় না। **3.2** চিত্রে চোখ E-তে থাকলে এরকম হয় ; P_1, P_2 দুইই দৃষ্টিরেখায়। দৃষ্টিরেখার আড়াআড়ি চোখ সরালে (ধর, চোখ বাঁয়ে সরিয়ে E_1-এ নিলে) দুই পিনের অবস্থানের প্রভেদ ধরা পড়ে। দূরের পিনটি (P_2) চোখ যে দিকে সরান হয়েছে, সেই দিকে সরে ; কাছেরটি সরে তার বিপরীতে। চোখ প্রথম দৃষ্টিরেখার ডান দিকে (চিত্রের E_2 অবস্থানে) সরালে দুই পিনের আপেক্ষিক অবস্থান আগের বিপরীত হয়। (জানালার শিক ও দূরের সোজা কোন বস্তু, ধর কোন বাড়ীর এক কোনা বা সোজা কোন গাছ, দৃষ্টিরেখায় রেখে মাথা দৃষ্টিরেখার আড়াআড়ি ডাইনে-বাঁয়ে সরিয়ে ওপরে বলা ক্রিয়া লক্ষ্য করে দেখ।)

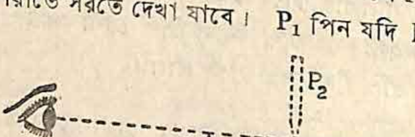


3.2 চিত্র

দুটি বস্তু পরস্পরের সংস্পর্শে না থাকলে দৃষ্টিরেখার আড়াআড়ি চোখ সরালে এদের মধ্যে আপাত গতি বা সরণ (displacement) দেখা যায়। এই আপাত গতি বা সরণকে **লম্বন** (**parallax**) বলে। মনে রেখো কাছেরটি চোখের গতির বিপরীত দিকে সরে, ও দূরেরটি চোখের গতির দিকেই সরে। ট্রেনে যেতে যেতে এ সকলেরই নজরে পড়ে থাকবে। দূরের গাছপালাগুলি যেন ট্রেন যেদিকে যাচ্ছে

সেদিকে সরে। কাছেরগুলি যায় বিপরীত দিকে। পিছনের পটভূমি সাপেক্ষে কাছের বস্তুগুলির বিপরীত গতি লম্বনেরই উদাহরণ।

3-1.1. বিম্বের অবস্থান বার করতে লম্বনের প্রয়োগ (**Method of parallax in determining the position of an image**)। মনে কর লেনসের বা আয়নার সাহায্যে কোন পিনের বিম্ব P_2-তে (3.3 চিত্র) গঠিত হয়েছে। এর সঠিক অবস্থান বার করতে আর একটি পিন (P_1) নেয়া হল। দ্বিতীয় পিন P_1' অবস্থানে থাকলে $P_1' P_2$ দৃষ্টিরেখার আড়াআড়ি চোখ সরালে P_1'-কে P_2 সাপেক্ষে চোখের গতির বিপরীতে সরতে দেখা যাবে। P_1 পিন যদি P_1'' অবস্থানে থাকে তবে P_1''-কে P_2 সাপেক্ষে গতির দিকে সরতে দেখা যাবে। P_2 সাপেক্ষে P_1 পিনের আপাত গতি বা সরণ দেখে বোঝা যায় কোন্‌টি কাছে, কোন্‌টি দূরে। ওপরের প্রথম ক্ষেত্রে P_1 কাছে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে P_2 সাপেক্ষে P_1 দূরে।



3.3 চিত্র (লম্বন প্রয়োগে অবস্থান নির্ণয়)

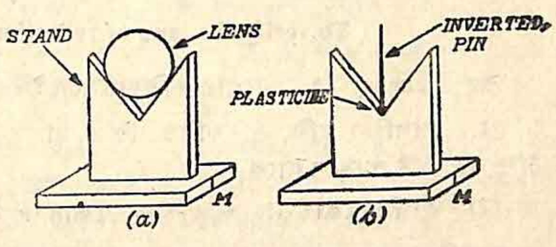
আপাত গতি দেখে P_1 পিন P_2 বিম্বের চেয়ে কাছে কি দূরে বুঝে, P_1 সরিয়ে আমরা একে P_1''' অবস্থানে P_2-র সংস্পর্শে আনতে পারি। এ অবস্থায় চোখ এপাশ ওপাশ সরালে বিম্ব P_2 ও P_1 পিনে কোন আপেক্ষিক গতি বা সরণ পাওয়া যাবে না। তখন বুঝতে হবে P_2 বিম্ব ও P_1 পিন ঠিক একই জায়গায় আছে। এইভাবে বিম্বের অবস্থান লম্বন বিচার করে পাওয়া যায়।

3-1.2. লেনস ও আয়না নিয়ে পরীক্ষণ (**Experiments with lens and mirror**)। লেনস ও আয়না নিয়ে পরীক্ষণে লেনস ও আয়না থেকে লক্ষ্যবস্তু ও তার বিম্বের দূরত্ব মাপা দরকার হয়। লক্ষ্যবস্তু হিসাবে কোন বিন্দু-লক্ষ্য (Point object) নেয়া ভাল, কারণ তাতে মাপন অনেক সূক্ষ্ম হতে পারে। বিন্দু-লক্ষ্য সাধারণত দুভাবে নেয়া যেতে পারে—(১) পিনের ছুঁচাল মাথা ও (২) আলোকিত ক্রস (×)-এর ছেদবিন্দু। পিন পাওয়া ও এর ব্যবহার সহজ বলে আমরা এর কথাই বলব।

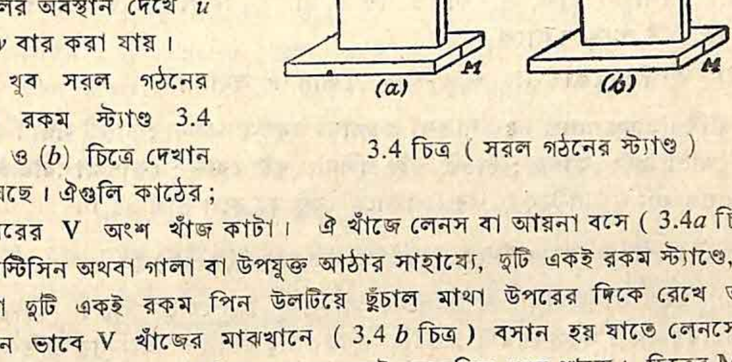
লক্ষ্য দূরত্ব u এবং বিম্ব দূরত্ব v পেতে সাধারণত 'অপটিক্যাল বেঞ্চ' (optical bench) ব্যবহার করা হয়। এই বেঞ্চের গঠন নানা রকম হতে পারে। কিন্তু সব বেঞ্চে লেনস বা আয়না রাখবার একটি স্ট্যাণ্ড, লক্ষ্য-বস্তু রাখবার একটি স্ট্যাণ্ড ও বিম্বের অবস্থান পাবার আর একটি—এই তিনটি স্ট্যাণ্ড থাকেই। স্ট্যাণ্ডগুলির প্রত্যেকটিই একটি মিটার স্কেলের গা ঘেঁষে সরতে পারে। প্রত্যেক স্ট্যাণ্ডেই লেনসের

বা আয়নার অবস্থান, লক্ষ্য-পিনের অবস্থান এবং লম্বন বিচারে যে পিন ব্যবহার হবে তার অবস্থান বোঝাবার জন্য স্ট্যাণ্ডের গায়ে লম্বালম্বি একটি দাগ কাটা থাকে। স্কেলে ঐ দাগগুলির অবস্থান দেখে u ও v বার করা যায়।

খুব সরল গঠনের এই রকম স্ট্যাণ্ড 3.4 (a) ও (b) চিত্রে দেখান হয়েছে। ঐগুলি কাঠের; ওপরের V অংশ খাঁজ কাটা। ঐ খাঁজে লেনস বা আয়না বসে (3.4a চিত্র)। প্ল্যাস্টিসিন অথবা গালা বা উপযুক্ত আঠার সাহায্যে, দুটি একই রকম স্ট্যাণ্ডে, একটু লম্বা দুটি একই রকম পিন উলটিয়ে ছুঁচাল মাথা উপরের দিকে রেখে তাদের এমন ভাবে V খাঁজের মাঝখানে (3.4 b চিত্র) বসান হয় যাতে লেনসের বা আয়নার কেন্দ্র এবং দুই পিনের মাথা একই অনুভূমিক তলে থাকে। চিত্রের M দাগ লেনসের বা পিনের অবস্থান বোঝায়।



3.4 চিত্র (সরল গঠনের স্ট্যাণ্ড)



3.5 চিত্র (স্ট্যাণ্ড ছাড়া অপটিক্যাল বেঞ্চ)

একখানা পালিশ করা লম্বা তক্তার ওপর একটি মিটার স্কেল এঁটে (3.5 চিত্র) তাকে অপটিকাল বেঞ্চ হিসাবে ব্যবহার করা যায়। কাঠের স্ট্যাণ্ডগুলির নিচের তলও পালিশ করা। স্ট্যাণ্ডের M দাগ স্কেলের দিকে রেখে স্কেল ঘেঁষে এদের আগান পিছান যায়। (যে কোন কাঠের মিস্ত্রী এরকম স্ট্যাণ্ড ও বেঞ্চ তৈরী করতে পারে। এর জন্য ব্যবসায়ী যন্ত্রনির্মাতার ওপর নির্ভর করার দরকার নাই।) বেঞ্চের নিচে তক্তা না থাকলেও টেবিলের ওপর চেপে রাখা একখানা মিটার স্কেল ঐভাবে ব্যবহার করা যায়। নাহলে টেবিলের ওপর কেবল স্ট্যাণ্ড তিনটি নিয়েই কাজ করা যায়। M দাগগুলির মধ্যেকার দূরত্ব মিটার স্কেল দিয়ে মাপা যেতে পারে।

পরীক্ষাগারে কি রকম অপটিকাল বেঞ্চ আছে তা আগেই দেখে নেয়া দরকার। ভাল অপটিকাল বেঞ্চে লেনস ও পিন রাখার আধার উঁচু-নিচু করা যায়। সরাবার সময় স্ট্যাণ্ডগুলি স্কেলের সমান্তরালে সরবে, এবং পাশের দিকে নড়বে না।

3-2.1. পরীক্ষণ 13 [Experiment 13]

আলোর প্রতিফলন সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় করা

(To verify the laws of reflection of light)

তত্ত্ব (**Theory**) ঃ আলোর প্রতিফলনের তুইটি সূত্র ঃ

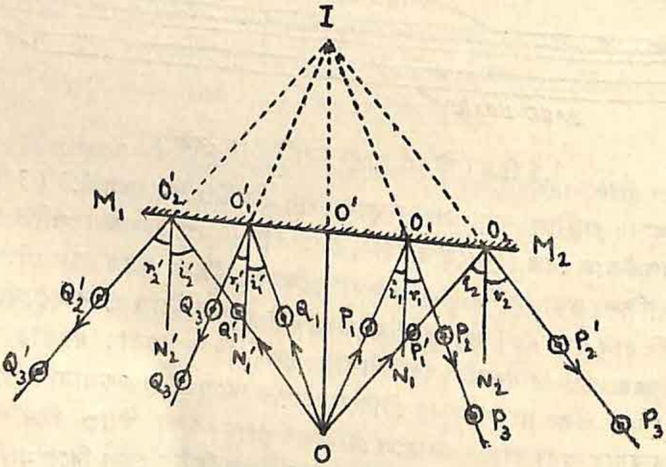
(1) আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকের ওপর টানা লম্ব একই সমতলে থাকে।

(2) আপতন কোণ (i) ও প্রতিফলন কোণ (r) সমান।

যন্ত্রাদি (**apparatus**) ঃ পাতলা একখানা সমতল আয়না ; চারটি লম্বা পিন ; একটু মোটা ড্রইং কাগজ ; চারটি ড্রইং পিন ; ড্রইং বোর্ড ; কোণ মাপবার চাঁদা বা Protractor (প্ল্যাস্টিকের, এবং আকারে একটু বড় হলে ভাল হয়)।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) ঃ

(১) ড্রইং কাগজখানা ড্রইং পিনের সাহায্যে ড্রইং বোর্ডে আঁট। কাগজের মাঝ বরাবর একটি সরল রেখা (3.6 চিত্রের $M_1 M_2$) টান। আয়নার প্রতিফলক তল ঠিক এই রেখার সঙ্গে মিলিয়ে আয়না খাড়া রেখে কাগজের ওপর বসাও। (আয়নার প্রতিফলক তল এর পিছনের তল ; এই তলেই রূপার প্রলেপ লাগান।)



3.6 চিত্র (প্রতিফলনের সূত্র প্রমাণ করা)

(২) O ও P_1 পিন তুটি বসিয়ে আপতিত রশ্মির দিক ঠিক কর। তৃতীয় পিন P_2 এমন জায়গায় বসাও যাতে আয়নাতে প্রতিফলিত O ও P_1-র বিম্ব

এবং P_2 ঠিক এক সরল রেখায় থাকে। চতুর্থ পিন P_3-ও ঠিক ঐ সরল রেখায় বসাও। O, P_1-এর বিম্ব এবং P_2 ও P_3 পিন এক রেখায় দেখা যাবে। এ অবস্থায় OP_1 আপতিত রশ্মি ও $P_2 P_3$ প্রতিফলিত রশ্মি নির্দেশ করে।

(৩) আয়না ও O পিন না সরিয়ে P_1, P_2, P_3 পিন তিনটি তুলে নাও এবং পিন ছিদ্র বিন্দুকে কেন্দ্র করে ছোট ছোট বৃত্ত আঁক।

(৪) P_1-এর দিকে এবার P_1' পিন এমন জায়গায় আঁটকাও যাতে আপতন কোণ আগের চেয়ে বড় হয় এবং আগের মত P_2', P_3' পিন এমনভাবে বসাও যাতে O, P_1'-এর বিম্ব ও P_2', P_3' একই সরলরেখায় থাকে।

(৫) O পিন না সরিয়ে তোমার ডান দিকে একই রকমভাবে Q_1, Q_2, Q_3 ও Q_1', Q_2', Q_3' পিন বসিয়ে আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি আঁক।

(৬) আয়না ও O পিন তুলে নাও। OP_1, OP_1', OQ_1, OQ_1' যুক্ত করে $M_1 M_2$ পর্যন্ত বাড়াও যাতে এই রেখাগুলি O_1, O_2, O_1', O_2' বিন্দুতে ছেদ করে। সেরকমভাবে $P_2 P_3$, $P_2' P_3'$, $Q_2 Q_3$, $Q_2' Q_3'$ যুক্ত কর এবং $M_1 M_2$ অবধি বাড়াও। যদি তোমার আঁকা ঠিক হয় তবে তারা O_1, O_2, O_1', O_2' বিন্দুতে মিলিত হবে।

(৭) চাঁদা দিয়ে O_1, O_2, O_1', O_2' বিন্দুতে $M_1 M_2$ ওপর $O_1 N_1$, $O_2 N_2$, $O_1' N_1'$, $O_2' N_2'$ লম্বগুলি টান এবং আপতন কোন i_1, i_2, i_1', i_2' ও প্রতিফলন কোণ r_1, r_2, r_1', r_2' গুলি মাপ।]

নিরীক্ষা (**Observations**) ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপতন কোণ $i°$	প্রতিফলন কোণ $r°$	মন্তব্য
1.	$i_1 =$	$r_1 =$	
2.	$i_2 =$	$r_2 =$	
3.	$i_1' =$	$r_1' =$	
4.	$i_2' =$	$r_2' =$	

ফল (**Result**) ঃ (i) প্রথম সূত্রের প্রমাণ ঃ আঁকা থেকে বোঝা যায় যে প্রতিফলিত রশ্মি, আপতিত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে টানা অভিলম্ব কাগজ তলে আছে অর্থাৎ একই তলে আছে। এটাই প্রথম সূত্র।

(ii) দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণ ঃ নিরীক্ষা সারণি থেকে দেখা যায় যে, প্রতি

ক্ষেত্রেই আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সমান, এ থেকেই দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হয়।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) ড্রইং বোর্ডে ড্রইং পিনের সাহায্যে কাগজ টান টান করে এঁটে কাগজের মাঝে প্রান্তের প্রায় সমান্তরালে একটি সরল রেখা (M_1M_2) টানা হল। আয়নার প্রতিফলক তল (পিছনের তল) এই রেখার ওপর রাখা হল।

(২) আয়নার সামনে খাড়া দুটি পিন (O, P_1) পুঁতে আপতিত রশ্মির দিক ঠিক করা হল। তৃতীয় পিন P_2 এমন জায়গায় বসান হল যাতে P_2 পিন, O ও P_1-র বিম্বের সঙ্গে এক রেখায় থাকে। চতুর্থ পিন P_3-ও একই রেখায় বসান হল। OP_1 রেখা আপতিত রশ্মির দিক এবং P_2P_3 রেখা প্রতিফলিত রশ্মির দিক নির্দেশ করে।

(৩) আয়না না সরিয়ে P_1, P_2, P_3 পিনগুলি তুলে P_1, P_2, P_3 বিন্দুকে কেন্দ্র করে ছোট ছোট বৃত্ত আঁকা হল।

(৪) একই রকমভাবে P_1-এর দিকে আরও একটি এবং এর বিপরীত দিকে আরও দুটি রশ্মি আঁকা হল।

(৫) আয়না সরিয়ে নিয়ে OP_1, OP_2, OP_1', OP_2' যোগ করে M_1M_2 অবধি বাড়ান হল, যাতে তারা O_1, O_2, O_1', O_2' বিন্দুতে মেলে। এবার P_2P_3, $P_2'P_3'$, Q_1Q_2, $Q_1'Q_2'$ যোগ করে M_1M_2 অবধি বাড়ান হল। এরাও O_1, O_2, O_1'. O_2' বিন্দুতে মিলল।

(৬) O_1, O_2, O_1', O_2' বিন্দু থেকে O_1N_1, O_2N_2, $O_1'N_1'$ $O_2'N_2'$ লম্ব টানা হল। আপতন ও প্রতিফলন কোণগুলি চাঁদা দিয়ে মাপা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ

(১) আয়না সরু ও সমতল হওয়া প্রয়োজন।
(২) রশ্মির গতিমুখ তীর চিহ্ন দিয়ে বোঝান উচিত।
(৩) কোন মাপনে ত্রুটি দূর করতে আপতন কোণকে বড় করতে হবে।
(৪) পিনগুলিকে উলম্বভাবে বসান দরকার।
(৫) আঁকার সময় যাতে আয়না না সরে তার দিকে লক্ষ্য রাখা দরকার।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) প্রতিফলন কাকে বলে? আলোকরশ্মি বলতে কি বোঝায়? (৩) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দু, আপতন বিন্দুতে টানা লম্ব, আপতন তল কথাগুলির অর্থ বোঝাও। (৪) রশ্মির দিক কিভাবে দেখান যায়? তোমার ছবিগুলিতে কিভাবে দেখিয়েছ? (৫) রশ্মি আঁকার পিন সরু ভাল কি মোটা ভাল? কেন? (৬) প্রতিফলনের সূত্র দুটি বল। (৭) আয়না পাতলা ভাল কি মোটা ভাল? কেন?

উত্তর। (১) কোন তলে আলো পড়লে এর কিছু অংশ প্রথম মাধ্যমেই ফিরে আসে। এই ঘটনাকে প্রতিফলন বলে। (২) আলো যে পথে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যায় সেই পথে চলা আলোই আলোকরশ্মি। (৩) কোন তলের ওপর যে আলোকরশ্মি পড়ে তা আপতিত রশ্মি (OP_1O_1)। তল থেকে প্রতিফলিত হয়ে যে রশ্মি ফিরে আসে তা প্রতিফলিত রশ্মি ($O_1P_2P_3$)। আপতিত রশ্মি প্রতিফলক তলের যে বিন্দুতে পড়ে তা আপতন বিন্দু (O_1)। আপতন বিন্দুতে প্রতিফলক তলের লম্ব আপতন বিন্দুতে টানা লম্ব (O_1N_1)। আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি যে তলে থাকে তা আপতন তল। (কাগজের তল।) (৪) রশ্মি যে দিকে যায় একটি তীর চিহ্ন দিয়ে তা দেখান হয়। হ্যাঁ। (৫) সরু। দুই পিনে কাগজে যে গোল ছেঁদা হয় তাদের কেন্দ্র যোগ করে টানা রেখাই রশ্মির পথ। মোটা পিন হলে মোটা বৃত্তের কেন্দ্র যোগ করে রেখা টানতে ত্রুটির সম্ভাবনা বেশী। (৬) 'তত্ত্ব' দেখ। (৭) পাতলা। প্রতিফলক তল আয়নার পিছনের তল। কাচ মোটা হলে প্রতিসরণের জন্য আয়নার পিছনের তল M_1M_2 রেখা থেকে কিছু আগিয়ে থাকবে। পালিশ করা ধাতুপাত আয়না হিসাবে ব্যবহার করলে প্রতিসরণজনিত কোন রকম ত্রুটির সম্ভাবনা থাকে না, কারণ তার প্রথম তলই প্রতিফলক তল।

3-2.2. পরীক্ষণ 14 (Experiment 14)

দেখাও, সমতল আয়নায় প্রতিফলনে লক্ষ্য বিম্ব গঠন করলে, বিম্ব দূরত্ব লক্ষ্য দূরত্বের সমান হয়।

(To show that in case of reflection on a plane mirror the object distance is equal to the image distance.)

তত্ত্ব (Theory) ঃ সমতল আয়নায় লক্ষ্য বিম্ব গঠন করলে, বিম্ব অলীক (অসৎ; Virtual) হয় এবং লক্ষ্য আয়না থেকে যে দূরত্বে থাকে বিম্ব একই দূরত্বে আয়নার পিছনদিকে থাকে। অর্থাৎ লক্ষ্য দূরত্ব $(u)=$ বিম্ব দূরত্ব (v)

যন্ত্রাদি (apparatus) ঃ আগের পরীক্ষণের মত।

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for experiment) ঃ** (১) থেকে (৬) পর্যন্ত আগের পরীক্ষণের মত।

(৭) প্রতিফলিত রশ্মি P_2P_3, $P_2'P_3'$, Q_2Q_3 ও $Q_2'Q_3'$ আয়নার পিছনের দিকে বাড়াও (চিত্র 3.6)। রশ্মিগুলি I বিন্দুতে মিলিত হবে। সুতরাং I হবে O বস্তুর অলীক বিম্ব। OI যোগ কর। OI রেখা M_1M_2 কে লম্বভাবে ছেদ করবে। স্কেল দিয়ে তিন বার OO' এবং IO' দূরত্ব মাপ। OO' ও IO' সমান হবে।]

নিরীক্ষা (Observations) ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	যে অবস্থানের পাঠ নেয়া হচ্ছে (cm)			লক্ষ্য দূরত্ব u (OO′) cm	বিম্ব দূরত্ব v (IO′) cm	মন্তব্য
	বস্তু (O)	আয়না (O′)	লক্ষ (I)			
1.						
2.						
3.						

ফল (Result) ঃ সারণি থেকে দেখা গেল লক্ষ্য দূরত্ব ও বিম্ব দূরত্ব পরস্পর সমান।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ (১) থেকে (৫) পর্যন্ত আগের পরীক্ষণের মত।

(৬) প্রতিফলিত রশ্মি P_2P_3, $P_2' P_3'$, Q_2Q_3, $Q_2'Q_3'$, আয়নার পিছন দিকে বাড়ান হল। এরা I বিন্দুতে মিলিত হল। I বিন্দু O বিন্দুর বিম্ব। OI যোগ করা হল। OI রেখা M_1M_2 রেখাকে O′ বিন্দুতে ছেদ করল,। বস্তু দূরত্ব OO′ এবং বিম্ব দূরত্ব IO′ স্কেলের সাহায্যে তিনবার মাপা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ আগের পরীক্ষণের মত।

মৌখিক প্রশ্ন ঃ (১) বিম্ব কি ? (২) কত রকমের বিম্ব আছে ? (৩) সমতল আয়না কি ধরণের বিম্ব গঠন করে ?

উত্তর ঃ (১) কোন বিন্দু লক্ষ্য থেকে আসা রশ্মি যখন প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়ে কোন বিন্দুতে মেলে বা মিলছে বলে মনে হয়, তখন দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বলে। (২) বিম্ব দু রকমের বাস্তব ও অলীক। (৩) অলীক বিম্ব। আরও প্রশ্ন ও উত্তরের জন্যে আগের পরীক্ষণ দেখ।

3-3. পরীক্ষণ 15 (Experiment 15)

আলোর প্রতিসরণ সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় করা
(To verify the laws of refration of light)

তত্ত্ব (Theory)। আলোর প্রতিসরণের দুটি সূত্র ঃ

(1) আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে টানা লম্ব একই সমতলে থাকে।

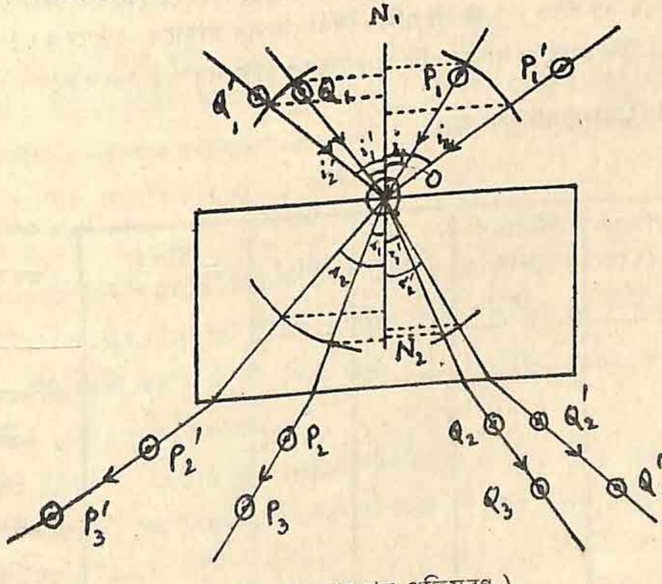
(2) i=আপতন কোণ ও r=প্রতিসরণ কোণ হলে নির্দিষ্ট মাধ্যমে ও নির্দিষ্ট রঙের আলোয় $\sin i/\sin r$ অনুপাত স্থির থাকে। [এই সূত্রটি স্নেলের সূত্র (Snell's law) বলে খ্যাত।]

যন্ত্রাদি (Apparatus)। সমকোণী আয়তাকার কাচের ফলক (Rectangular slab of glass), চারটি সরু পিন, ড্রইং বোর্ড, ড্রইং কাগজ, চারটি ড্রইং পিন, কোণ মাপবার চাঁদা (Protractor)।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)।

(১) ড্রইং কাগজখানা ড্রইং পিন দিয়ে ড্রইং বোর্ডের সঙ্গে আঁট।

(2) কাচের ফলকখানা কাগজের মাঝ বরাবর করে রেখে (3.7 চিত্র) ছুঁচাল পেনসিল দিয়ে এর সীমারেখা আঁক। কাজের সময় ফলক নড়ে না যায়।



3.7 চিত্র (আলোর প্রতিসরণ)

(৩) দুটি পিন O ও P_1-র সাহায্যে ফলকের এক পাশে আপতিত রশ্মির

দিক ঠিক কর। ফলকের অন্য দিক দিয়ে তাকিয়ে P_2 ও P_3 পিন দুইটি এমন ভাবে পোঁত যে ফলকে গঠিত O, P_1-র বিম্ব এবং P_2 ও P_3 পিন দুটিকে একই সরল রেখায় দেখা যায়। OP_1 হবে আপতিত রশ্মি ও P_2P_3 হবে নিক্রান্ত রশ্মি।

(৪) ফলক ও পিন O না সরিয়ে, P_1, P_2, P_3 পিনগুলি তুলে নাও এবং P_1 P_2, P_3 কে কেন্দ্র করে ছোট ছোট বৃত্ত আঁক।

(৫) আপতন কোণ বড় করে এবং P_1 যে দিকে আছে সেদিকে P_1' পিন পোঁত। P_2', P_3' পিন পুঁতে আগের মত অঙ্কন কর।

(৬) অপরদিকে Q_1, Q_2, Q_3 ও Q_1', Q_2', Q_3' পিনগুলি পুঁতে আগের মত আবার অঙ্কন কর।

(৭) ফলক ও O পিন তুলে নাও। OP_1, OP_1', OQ_1, OQ_1', P_2P_3, $P_2'P_3'$, Q_2Q_3 ও $Q_2'Q_3'$ যোগ কর। এই রেখাগুলি ফলকের সীমারেখায় যে যে বিন্দুতে মিলবে সেইসব বিন্দু থেকে O পর্যন্ত রেখা টান। ফলকের ভিতর এই রেখাগুলি প্রতিসৃত রশ্মি নির্দেশ করবে।

(৮) চাঁদার সাহায্যে O বিন্দুতে N_1ON_2 লম্ব আঁক। আপতন কোণ i_1, i_2, i_1', i_2', ও প্রতিসরণ কোণ r_1, r_2, r_1', r_2' মাপ।

(৯) O কে কেন্দ্র করে ফলকের বেধের কম ব্যাসার্ধে বৃত্ত আঁক। এই বৃত্ত আপতিত ও প্রতিসৃত রশ্মিগুলিকে যে যে বিন্দুতে ছেদ করবে সেইসব বিন্দু থেকে N_1ON_2 ওপর লম্ব আঁক। এই লম্বগুলির দৈর্ঘ্য স্কেলের সাহায্যে কত দেখ।]

(অংকন ঠিক হলে আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মি পরস্পর সমান হবে।)

নিরীক্ষা (Observations) ঃ

সারণি ১

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আপতন কোণ (i^o)	প্রতিসরণ কোণ (r^o)	Sin i	Sin r	$\mu=\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r}$	মন্তব্য
1.						প্রতিবারই μ ধ্রুবক। এর থেকে দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হয়।
2.						
3.						
4.						

সারণি ২

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বায়ুতে লম্ব দূরত্ব (d) cm	মাধ্যমে লম্ব দূরত্ব (d') cm	$\mu=\frac{d}{d'}$	মন্তব্য
1.				
2.				
3.				
4.				

ফল (result) ঃ

(i) প্রথম সূত্রের প্রমাণ ঃ সবক্ষেত্রেই আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব কাগজের তলে আছে—অর্থাৎ একই তলে আছে। সুতরাং প্রতিসরণের প্রথম সূত্র সত্য।

(ii) দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণ ঃ সারণি (১) ও (২) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, Sin i / Sin r-এর মান সবক্ষেত্রেই প্রায় একই। অর্থাৎ দ্বিতীয় সূত্র সত্য।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (**Method followed**) ঃ

(১) ড্রইং বোর্ডে কাগজ এঁটে কাচের সমকোণী আয়ত ফলক তার ওপর মাঝখানে রেখে ফলকের সীমারেখা ছুঁচাল পেনসিল দিয়ে দাগ দেয়া হল।

(২) ফলকের একদিকে দুটি পিন OP_1 পুঁতে আপতিত রশ্মির পথ নির্দেশ করা হল। OP_1 আপতিত রশ্মি।

(৩) ফলকের বিপরীত দিক দিয়ে তাকিয়ে প্রথম পিন দুটির বিম্বের সঙ্গে একই সরলরেখায় থাকে এমনভাবে আর দুটি পিন P_2, P_3 পোঁতা হল। P_2P_3 নিক্রান্ত রশ্মি।

(৪) ফলক ও O পিন না সরিয়ে P_1, P_2, P_3 পিন তুলে নিয়ে ছোট ছোট বৃত্ত আঁকা হল।

(৫) এরকম চারবার আঁকা হল। বাঁদিকে দুটি এবং ডানদিকে দুটি।

(৬) ফলক ও O পিন তুলে আপতিত ও নিক্রান্ত রশ্মিগুলি আঁকা হল। O ন্দুতে N_1ON_2 লম্ব টানা হল।

(৭) চাঁদার সাহায্যে আপতন কোণ ও প্রতিসৃত কোণগুলি মাপা হল।

(৮) ফলকের বেধের কম ব্যাসার্ধ নিয়ে O বিন্দুকে কেন্দ্র করে একটি বৃত্ত আঁকা ল। আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি এই বৃত্তের পরিধিতে যে যে বিন্দুতে ছেদ করে. সই বিন্দুগুলি থেকে N_1ON_2-এর ওপর লম্ব টানা হল। এই লম্বগুলি স্কেলের াহায্যে মাপা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ (১) আঁকার সময় কাচের ফলকটি একটুও না রে।

(২) ফলকের বিপরীত তল পরস্পর সমান্তরাল হওয়া প্রয়োজন।

(৩) রশ্মির গমনপথ তীর চিহ্ন দিয়ে দেখান উচিত।

(৪) পিনগুলি উলম্বভাবে পোঁতা দরকার।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) প্রতিসরণের সূত্র কি? (২) স্নেলের সূত্র কান্‌টি? (৩) প্রতিসরাংক কাকে বলে? (৪) তোমার পরীক্ষণে যে প্রতিসরাংক াওয়া যায় তা কোন্ মাধ্যম সাপেক্ষে কোন্ মাধ্যমের প্রতিসরাংক? ৫) কাচ থেকে বায়ুতে প্রতিসরণ হলে প্রতিসরাংক কত হত? (৬) এরকম ক্ষেত্রে তামার অংকনে কোন্‌টি আপতন কোণ এবং কোনটি প্রতিসরণ কোণ? (৭) প্রতি-রাংকের সঙ্গে আলোর বেগের কি সম্পর্ক?

উত্তর। (১) ও (২) পরীক্ষণের 'তত্ত্ব' দেখ। (৩) $\sin i/\sin r$ অনুপাত। ৪) বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাংক। (৫) এখানে μ-র বিপরীত রাশি $1/\mu$)। (৬) তখন r আপতন কোন ও i প্রতিসরণ কোণ। (৭) প্রথম মাধ্যম াপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাংক=প্রথম মাধ্যমে আলোর বেগ ÷ দ্বিতীয় াধ্যমে আলোর বেগ।

বিভিন্ন কোণের সাইন্-এর সারণি

$\theta°$	$\sin\theta$	$\theta°$	$\sin\theta$	$\theta°$	$\sin\theta$
14	0·242	35	0·574	56	0·829
15	0·259	36	0·588	57	0·839
16	0·276	37	0·602	58	0·848
17	0·292	38	0·616	59	0·857
18	0·309	39	0·629	60	0·866
19	0·326	40	0·643	61	0·875
20	0·342	41	0·656	62	0·883
21	0·358	42	0·669	63	0·891
22	0·375	43	0·682	64	0·899
23	0·391	44	0·695	65	0·906
24	0·407	45	0·707	66	0·914
25	0·423	46	0·719	67	0·921
26	0·438	47	0·731	68	0·927
27	0·454	48	0·743	69	0·934
28	0·470	49	0·755	70	0·940
29	0·485	50	0·766	71	0·946
30	0·500	51	0·777	72	0·951
31	0·515	52	0·788	73	0·956
32	0·530	53	0·799	74	0·961
33	0·545	54	0·809	75	0·966
34	0·559	55	0·819	76	0·970

কোণে ভগ্নাংশ থাকলে, সাইন্-এর মান বৃদ্ধি প্রভেদের আনুপাতিক ধরবে।

উদাহরণ : $\sin 56{\cdot}5° = \sin 56° + (\sin 57° - \sin 56°) \times 0{\cdot}5$

$= 0{\cdot}829 + (0{\cdot}839 - 0{\cdot}829) \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}834$

3.4. গোলীয় আয়না (**Spherical mirror**) : একদিকে প্রতিফলক তল আছে এমন গোলকের অংশকে গোলীয় আয়না বলে। গোলীয় আয়না যে গোলকের অংশ, তার কেন্দ্র ও ব্যাসার্ধ যথাক্রমে আয়নার বক্রতা কেন্দ্র (centre of curvature) এবং বক্রতা ব্যাসার্ধ (radius of curvature)। আয়নার মধ্য বিন্দুকে মেরু (pole) বলে। বক্রতা কেন্দ্র ও মেরু যোগ করে যে রেখা পাওয়া যায় তাকে আয়নার অক্ষ (axis) বলে। গোলীয় আয়না দু'প্রকারের হয় – অবতল (concave) ও উত্তল (convex)। প্রতিফলক তলের দিকে বক্রতা কেন্দ্র থাকলে তাকে অবতল ও বিপরীত দিকে থাকলে তাকে উত্তল আয়না বলে। আমরা এখানে শুধু অবতল আয়না সম্বন্ধে আলোচনা করবো। আমাদের আলোচনায় ধরে নেবো আয়নার উন্মেষ (aperture) খুব কম।

অবতল আয়নায় কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ এর অক্ষের সমান্তরালে আপতিত হলে প্রতিফলনের পর রশ্মিগুচ্ছ আয়নার অক্ষের কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয়। এই বিন্দুকে অবতল আয়নার ফোকাস (focus) বলে। মেরু থেকে ফোকাসের দূরত্বকে আয়নার ফোকাস দৈর্ঘ্য (focal length) বলে। আয়নার ফোকাসে অক্ষের অভিলম্ব তলকে ফোকাস তল (focal plane) বলে।

আয়নার ফোকাস দৈর্ঘ্যের থেকে বেশী দূরত্বে অক্ষের ওপর কোন বিন্দু-লক্ষ্য (Point object) রাখা হলে অবতল আয়না একই দিকে অক্ষের ওপরেই বিন্দু-লক্ষের বাস্তব বিম্ব গঠন করে। লক্ষ্য-দূরত্ব (u), বিম্ব দূরত্ব (v), বক্রতা ব্যাসার্ধ (r) ও ফোকাস-দৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক হল $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}$. লক্ষ্য বা বিম্ব আয়নার কোন পাশে আছে, বিম্ব বাস্তব (সৎ, real) কি অলীক (অসৎ, virtual) তা বোঝাবার জন্য u, v, r ও f-কে পজিটিভ (+) বা নিগেটিভ (−) ধরার বিভিন্ন রীতি চালু আছে।

3-4.2. পরীক্ষণ 16 (Experiment 16)

সমাপতন পদ্ধতিতে অবতল আয়নার ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় (অপটিকাল বেঞ্চ দিয়ে বা ছাড়া)

(To find the focal length of a concave mirror by the method of coincidence (with or without optical bench)

তত্ত্ব (Theory) ঃ মেরুকে মূলবিন্দু ধরলে অবতল আয়নার ক্ষেত্রে লক্ষ্য-দূরত্ব u, বস্তু-দূরত্ব v, বক্রতা ব্যাসার্ধ r ও ফোকাস দৈর্ঘ্য f-এর মধ্যে সম্পর্ক হবে $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}$. যদি $u=r$ হয়, অর্থাৎ লক্ষ্য বক্রতা কেন্দ্রে রাখলে, ওপরের সমীকরণটি হবে

$$v=r=2f,$$

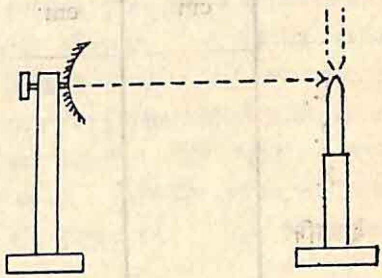
অর্থাৎ বিম্বও বক্রতা কেন্দ্রে গঠিত হয়, সুতরাং ফোকাস দৈর্ঘ্য $f=\frac{r}{2}$ থেকে নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রাদি (Apparatus) ঃ অবতল আয়না ও তার ধারক (holder) ; দুটি স্ট্যাণ্ডে আঁটা দুটি পিন ; মিটার স্কেল (বা অপটিকাল বেঞ্চ)।

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the Experiment) ঃ** (অপটিক্যাল বেঞ্চ না থাকলে পরীক্ষণটি কিভাবে করা যায় আমরা তার নির্দেশ দেবো। বেঞ্চ থাকলে তার ব্যবহার এই নির্দেশগুলি থেকেই বোঝা যাবে।)

(১) লক্ষ্য পিনকে সোজা করে একটি স্ট্যাণ্ডে আঁটকাও এবং এটা অবতল আয়নার খুব কাছে রাখ। পিনের উচ্চতা এমন কর যাতে পিনের ছুঁচালো মুখ আয়নার অক্ষের কাছাকাছি থাকে।

(২) আস্তে আস্তে লক্ষ্য পিনকে আয়না থেকে দূরে সরাতে থাকো যতক্ষণ না লক্ষ্য পিনের বাস্তব ও উল্টো বিম্ব পাওয়া যায়। লক্ষ্য পিনকে বাঁদিকে বা ডানদিকে সরাও যাতে লক্ষ্য পিন ও তার বিম্ব একই উলম্ব রেখার থাকে। এবার লক্ষ্য পিনকে ওঠাও বা নামাও যাতে লক্ষ্য পিন ও তার বিম্ব ঠিক স্পর্শ করে।



চিত্র 3.8

(৩) লক্ষ্য পিনকে আস্তে আস্তে সরিয়ে এমন স্থানে আন যাতে লক্ষ্য পিন ও তার বিম্ব সমাপতন হয় অর্থাৎ লম্বন 3-1.1 দেখ)না থাকে (চিত্র 3.8)।

৪) স্কেলের সাহায্যে মেরু থেকে লক্ষ্য পিনের ছুঁচালো মাথা পর্যন্ত মাপ (অপটিক্যাল বেঞ্চ ব্যবহার করলে আয়নার ও লক্ষ্য পিনের অবস্থানের পাঠ বেঞ্চের স্কেল থেকে দেখে নাও। এই দুই অবস্থানের অন্তরই হবে r-এর মান)।

(৫) লক্ষ্য পিন সরিয়ে নাও এবং আবার লক্ষ্য পিনকে আগের পদ্ধতির মত সরিয়ে সরিয়ে সমাপতন অবস্থান বার কর। এই পদ্ধতি অন্তত ছ'বার কর ও প্রত্যেকবার দূরত্ব স্কেল দিয়ে মাপ (অপটিকাল বেঞ্চ ব্যবহার করলে আয়না ও লক্ষ্য পিনের অবস্থান নাও)। এই পাঠগুলির গড় নিলে আয়নার ফোকাস-দূরত্বের [মান পাবে।]

নিরীক্ষা (Observations) :

অপটিকাল বেঞ্চ ছাড়া

পর্যবেক্ষণ স্যংখ্যা	আয়নার মেরু থেকে পিনের ছুঁচাল প্রান্তের দূরত্ব (r) cm.	r-এর গড় মান cm.	আয়নার ফোকাস দূরত্ব $f=\frac{r}{2}$ cm.
1.			
2.			
3.			
⋮			
ইত্যাদি			

অপটিকাল বেঞ্চ দিয়ে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লক্ষ্যপিনের অবস্থান (O) cm	আয়নার অবস্থান (M) cm	বক্রতা ব্যাসার্ধ $r = M \sim O$ cm	r-এর গড় মান cm	আয়নার ফোকাস দূরত্ব $f = \frac{r}{2}$ cm
1.					
2.					
3.					
⋮					
ইত্যাদি					

ফল (Result) ঃ সুতরাং অবতল আয়নার ফোকাস দূরত্ব=···cm.

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) লক্ষ্য পিন ও অবতল আয়না খাড়াভাবে আটকিয়ে লক্ষ্য পিন আয়নার খুব কাছে রাখা হল। লক্ষ্য পিনের ছুঁচালো মাথা আয়নার অক্ষের খুব কাছে রাখা আছে।

(২) লক্ষ্য পিন আয়না থেকে সরিয়ে নিয়ে এমন অবস্থানে আনা হল যাতে লক্ষ্য পিনের বাস্তব বিম্ব পাওয়া যায়। লক্ষ্য পিন এদিক ওদিক করে এবং উঠিয়ে নামিয়ে লক্ষ্য পিন ও তার বিম্ব একই উলম্ব রেখায় এনে স্পর্শ করান হল।

(৩) লক্ষ্য পিন আস্তে আস্তে সরিয়ে এমন অবস্থানে আনা হল যে তারা সমাপতিত হয় অর্থাৎ তাদের মধ্যে লম্বন না থাকে। এই অবস্থায় স্কেলের সাহায্যে আয়না থেকে পিনের ছুঁচালো প্রান্তের পাঠ নেয়া হল (অথবা পিন ও আয়নার অবস্থান দেখা হল)।

(৪) লক্ষ্য পিন সরিয়ে আবার সমাপতন অবস্থান বের করা হল। এই পদ্ধতিতে ছটি পাঠ নেয়া হল। এই পাঠগুলি থেকে অবতল আয়নার ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ (১) লক্ষ্য পিন ও তার বিম্বের সমাপতন অবস্থান নির্ণয়ে লম্বন না থাকে।

(২) লক্ষ্য পিন সোজা রাখতে হবে।

(৩) মেরু থেকে পিনের ছুঁচালো প্রান্তের পাঠ অনুভূমিকভাবে নিতে হবে।

(৪) আয়নার উন্মেষ ছোট হওয়া উচিৎ।

মৌখিক প্রশ্ন ঃ (১) অবতল আয়নায় কি অলীক বিম্ব পাওয়া সম্ভব? যদি পাওয়া যায় তবে কি করে বিম্বের অবস্থান বের করবে? (২) তোমাকে দুটি বিভিন্ন উন্মেষের অবতল আয়না দেয়া হলো। কোনটি তুমি ব্যবহার করবে এবং কেন? (৩) অবতল আয়না কিভাবে চিনবে? (৪) সংজ্ঞা বল ঃ বক্রতা কেন্দ্র; বক্রতা ব্যাসার্ধ; মেরু; ফোকাস এবং ফোকাস দৈর্ঘ্য। (৫) লম্বন কি?

উত্তর ঃ (১) লক্ষ্য বস্তু মেরু ও ফোকাসের মধ্যে রাখলে অবতল আয়না পিছনদিকে অলীক বিম্ব গঠন করে। সন্ধানী (Search) পিন আয়নার পিছনে রেখে লম্বন ত্রুটি এড়িয়ে বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা যায়। (২) যে আয়নার উন্মেষ কম। কারণ উন্মেষ বড় হলে গোলাপেরণ (Spherical aberration) ও বিম্বের বিকৃতির ফলে বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা শক্ত হয়। (৩) অবতল আয়না চিনতে হলে আয়নার খুব কাছে একটি বস্তু রাখবে। যদি বিম্ব সোজা, অলীক ও বড় হয় তবে আয়না অবতল। (৪) 3-3.1 বিভাগ দেখ। (৫) 3-1 বিভাগ দেখ।

3-5. গোলীয় লেনস (Spherical mirror)।

দুপাশ গোলীয় তল (spherical surface) দিয়ে সীমাবদ্ধ, এরকম স্বচ্ছ মাধ্যমকে আমরা 'গোলীয় লেনস' (spherical lens) বলি। দুই গোলীয় তলের কেন্দ্র দুটি যোগ করে যে রেখা তাকে 'লেনসের অক্ষ' (axis of the lens) বলে। লেনস অন্য আকারের হতে পারলেও আমরা কেবল গোলীয় লেনসের কথাই বলব।

গোলীয় লেনস 'উত্তল' (convex) বা 'অবতল' (concave) হতে পারে। উত্তল লেনসের মাঝখান মোটা, পাশ সরু। অবতল লেনসের মাঝখান সরু, পাশ মোটা। উত্তল, গোলীয় লেনসে আমাদের আলোচনা সীমাবদ্ধ থাকবে।

উত্তল, গোলীয় লেনসে কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ এর অক্ষের সমান্তরালে আপতিত হলে দু'তলে প্রতিসরণের পর রশ্মিগুচ্ছ লেনসের অক্ষের কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয়। এই বিন্দুকে লেনসের ফোকাস (**Focus**) বলে। লেনস থেকে ফোকাসের দূরত্বকে লেনসের ফোকাস দৈর্ঘ্য বা ফোকাস দূরত্ব (**Focal length**) বলে। প্রাথমিক স্তরে ফোকাস দৈর্ঘ্যের তুলনায় লেনসের বেধ (thickness) উপেক্ষা করা হয়। এরকম লেনসকে 'ক্ষীণ লেনস' (thin lens) বলে। আমাদের আলোচনায় সকল লেনসকেই 'ক্ষীণ' ধরা হবে।

উত্তল লেনস আপতিত কিরণের অভিসারিতা (convergence) বাড়ায় বলে একে 'অভিসারী' (convergent) লেনসও বলে।

লেনসের ফোকাসে লেনস অক্ষের অভিলম্ব তলকে ফোকাস তল (**Focal plane**) বলে।

লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশী দূরত্বে অক্ষের ওপর কোন বিন্দু-লক্ষ্য (point object) থাকলে উত্তল লেনস বিপরীত দিকে অক্ষের ওপরেই বিন্দু-লক্ষ্যের

বাস্তব বিম্ব গঠন করে। লক্ষ্য-দূরত্ব, বিম্ব-দূরত্ব ও ফোকাস-দৈর্ঘ্য সম্পর্কিত। লক্ষ্য বা বিম্ব লেনসের কোন্ পাশে আছে, বিম্ব বাস্তব (সৎ, real) কি অলীক (অসৎ, virtual), তা বোঝাবার জন্য লক্ষ্য-দূরত্ব (u), বিম্ব দূরত্ব (v) ও ফোকাস-দৈর্ঘ্য (f)-কে পজিটিভ (+) বা নিগেটিভ (−) ধরার বিভিন্ন রীতি চালু আছে। এক রীতিতে রাশি তিনটির সম্পর্ক হয় $1/v+1/u=1/f$। অন্য রীতিতে সম্পর্ক হয় $1/v-1/u=1/f$।

3-5.1. পরীক্ষণ 17 (Experiment 17)

লক্ষ্য-দূরত্ব u ও বিম্ব দূরত্ব v মেপে উত্তল লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য f নির্ণয় করা (**To determine the focal length of a convex lens by the** u-v **method**)

তত্ত্ব (**Theory**)। উত্তল লেনস নিজ অক্ষের ওপর লেনস থেকে u দূরত্বে রাখা কোন বিন্দু-লক্ষ্যের বিম্ব বিপরীত দিকে v দূরত্বে গঠন করলে এবং লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য f হলে, রাশি তিনটিতে সম্পর্ক হয়

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$$

বিম্ব বাস্তব বলে v নিগেটিভ। তাই ওপরের সূত্রটি হবে

$$\frac{1}{f}=-\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=-\frac{u+v}{uv}$$

$$\therefore\ f=-\frac{uv}{u+v}.$$

u ও v-র মান জানলে f বার করা যাবে।

যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। ধারক (holder)-এ রাখা লেনস ; দুটি স্ট্যাণ্ডে আঁটা দুটি পিন ও মিটার স্কেল। (লেনসের কেন্দ্র ও পিন দুটির ছুঁচাল মাথা একই উচ্চতায় থাকা দরকার।)

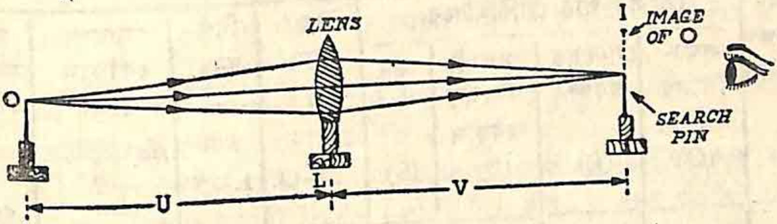
['অপটিকাল বেঞ্চ' (optical bench ; 3-1.2 বিভাগ) থাকলে তা ; লক্ষ্য হিসাবে পিনের ছুঁচাল মাথা বা আলোকিত ক্রস (3-1.2 বিভাগ) ; এবং ক্রসের ক্ষেত্রে তার বিম্বের অবস্থান নির্ণয়ের পর্দা।]

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)।

(অপটিকাল বেঞ্চ না থাকলেও পরীক্ষণটি কিভাবে করা যেতে পারে আমরা তারই নির্দেশ দেব। অপটিকাল বেঞ্চ থাকলে তার ব্যবহার এই নির্দেশগুলি থেকেই বোঝা যাবে।)

(১) লেনসখানা জানালার কাছে নিয়ে প্রায় 20-30 মিটার বা বেশী দূরের কোন আলোকিত উজ্জ্বল বস্তুর বিম্ব একখানা সাদা কাগজের ওপর গঠন কর।

লেনস ও এই বিম্বের দূরত্ব একটি স্কেল দিয়ে মাপ। এই দৈর্ঘ্য লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের স্থূল মান ও প্রথমে দেখে নেয়া সুবিধার।



3.9 চিত্র (U ও V মেপে লেনসের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয়)

(২) স্ট্যাণ্ডে লেনস, লক্ষ্য পিন (বা আলোকিত ক্রস) এবং সন্ধানী (Search) পিন এঁটে দেখ দুই পিনের ছুঁচালো প্রান্ত (বা ক্রস ও পর্দার মধ্যভাগ) লেনসের কেন্দ্রের সমান উচ্চতায় আছে কিনা। যদি না থাকে, যথাসম্ভব চেষ্টা কর আনার। তা নাহলে বিম্বের অবস্থান পেতে অসুবিধে হবে। পিন দুটি (বা ক্রস ও পর্দা) খাড়া রাখতে হবে। স্টাণ্ডের দাগ পিন দুটির (বা ক্রস ও পর্দার) অবস্থান নির্দেশ করবে।

(৩) একটি পিন (বা ক্রস) লেনস থেকে প্রায় $2f$ দূরত্বে ও লেনসের অক্ষে রাখ। লেনসের অপরদিক থেকে দেখ (বা পর্দা রাখ) বিম্ব প্রায় একই দূরত্বে আছে কিনা (চোখকে সন্ধানী পিন থেকে আরও 25 cm. দূরে রাখবে)। সন্ধানী পিন ওপর নীচ বা এদিক ওদিক সরিয়ে লক্ষ্য পিনের বিম্ব ও সন্ধানী পিনের ছুঁচালো প্রান্ত ঠিক স্পর্শ করাও ও একই উলম্ব রেখায় রাখ। সন্ধানী পিনকে এগিয়ে পিছিয়ে এমন অবস্থানে আন (চিত্র 3.9) যেন লম্বন না থাকে (3-1.1 বিভাগ) [বা পর্দাকে এমন অবস্থানে আন যাতে পর্দার ওপর ক্রসের স্পষ্ট বিম্ব গঠিত হয়।] পিনের (বা আলোকিত ক্রস ও পর্দার) ও লেনসের পাশে একটি স্কেল বসিয়ে পিন দুটির (বা আলোকিত ক্রস ও পর্দার) ও লেনসের অবস্থানের পাঠ নাও। লক্ষ্যকে (বা ক্রসকে) একই জায়গায় রেখে সন্ধানী পিন (বা পর্দা) নড়িয়ে দিয়ে আবার আগের মত বিম্বের অবস্থান দুবার বের কর। এই তিন পাঠের গড় হবে বিম্বের অবস্থান।

(৪) লক্ষ্য পিনকে (বা ক্রসকে) $1\frac{1}{2} f$ ও $3f$-এর মধ্যে রেখে রেখে বিম্বের অবস্থান বের কর।

(৫) u-এর অন্তত পাঁচটি মানের জন্য v বের কর। এই মানগুলি থেকে f বার কর।

(৬) গ্রাফ কাগজে x-অক্ষ বরাবর u ও y-অক্ষ বরাবর v ধরে একটি গ্রাফ আঁক। গ্রাফটি একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত হবে। গ্রাফের ওপর যে কোন একটি বিন্দু থেকে u ও v-এর মান দেখ। এর থেকে f বার কর।

হিসাব ও নিরীক্ষা (Observations and Calculations) ঃ

পিন ও অপটিকাল বেঞ্চ দিয়ে বা ছাড়া

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্কেলের পাঠ সেন্টিমিটারে				লক্ষ্য দূরত্ব u cm L~O	বিম্ব দূরত্ব v cm L~S	লেনসের ফোকাস দৈর্ঘ্য $f=-\frac{uv}{u+v}$ cm	গড় ফোকাস দৈর্ঘ্য cm
	লক্ষ্য-পিনের অবস্থান (O)	লেনসের অবস্থান (L)	সন্ধানী পিনের অবস্থান (S)	গড় (S)				
1.	…	…	(i)… (ii)… (iii)…	…	…	…	…	
2.	…	…	(i)… (ii)… (iii)…	…	…	…	…	…
⋮ ইত্যাদি								

আলোকিত ক্রস ও পর্দা দিয়ে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্কেলের পাঠ সেন্টিমিটারে				লক্ষ্য দূরত্ব u (L~O)	বিম্ব দূরত্ব v (L~S)	লেনসের ফোকাস দৈর্ঘ্য $f=-\frac{uv}{u+v}$ cm	গড় ফোকাস দৈর্ঘ্য cm
	আলোকিত ক্রস (O)	লেন্স (L)	পর্দা (S)	গড় (S)				
1.	…	…	(i)… (ii)… (iii)….	…	…	…	…	
2.	…	…	(i)… (ii)… (iii)….	…	…	…	…	
⋮ ইত্যাদি								…

ফল (Result) ঃ প্রদত্ত লেনসের গড় ফোকাস দূরত্ব $= \cdots$ cm.

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) দূরের বস্তুর বিম্ব গঠন করে লেনসের ফোকাস দৈর্ঘ্যের স্থূল মান দেখা হল।

(২) লক্ষ্য পিন ও সন্ধানী পিনের ছুঁচালো মাথা (ক্রস ও পর্দার মধ্যভাগ) ও লেনসের কেন্দ্র একই উচ্চতায় আছে কি না দেখা হল।

(৩) লক্ষ্য পিন (বা ক্রস) লেনসের অক্ষের ওপর $1\frac{1}{2} f$ ও $3f$ দূরত্বের মধ্যে রেখে বিম্বের অবস্থান সন্ধানী পিনের (বা পর্দার) সাহায্যে লম্বন পদ্ধতিতে (বা পর্দার অবস্থান যখন লক্ষ্য পিনের বিম্ব যতদূর সম্ভব স্পষ্ট হয়) নির্ণয় করা হল। একটি u-এর মানের জন্য তিনবার v বের করে গড় নেয়া হল।

(৪) এভাবে 5টি u-এর জন্য v-র মান নির্ণয় করে, প্রত্যেক u ও v-র মানে f বের করা হল। গড় f-এর মান নির্ণয় করা হল।

(৫) গ্রাফ কাগজে u ও v-এর মান বসিয়ে গ্রাফ টানা হল। এটি একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত হল। এই পরাবৃত্তের যে কোন একটি বিন্দু থেকে u ও v-এর মান বের করে আবার f নির্ণয় করা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ (১) লম্বন ত্রুটি এড়িয়ে বিম্বের অবস্থান নির্ণয় করতে হবে।

(২) যখন $u=v$ অর্থাৎ লক্ষ্য যখন $2f$-এ থাকে তখন f নির্ণয়ে সবথেকে কম ভুল হয়। তাই u-এর মান $2f$-এর কাছাকাছি রাখা প্রয়োজন।

(৩) লেনসের উন্মেষ ছোট হতে হবে। কারণ উন্মেষ বড় হলে গোলাপেরণ (Spherical aberration)-এর জন্য বিম্বের প্রকৃত অবস্থান নির্ণয়ে ত্রুটি হবে।

মৌখিক প্রশ্ন। (১) লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য ও অক্ষ কাকে বলে? (২) লেনসের 'মধ্যতল' বলতে কি বোঝায়? (৩) ক্ষীণ (thin) লেনস্ কাকে বলে? (৪) u এবং v কোথা থেকে মাপা হয়? (৫) 'বিন্দু-লক্ষ্য' কাকে বলে? (৬) 'লম্বন' (parallax) কি বুঝিয়ে বল। লম্বন দূর হল কি না কিভাবে বুঝবে? (৭) 'উত্তল' লেনস' ও 'অভিসারী' লেনস কথা দুটির অর্থ কি এক? (৮) অভিসারী লেনস কি সকল বাস্তব লক্ষ্যেরই বাস্তব বিম্ব গঠন করতে পারে? (৯) 'বাস্তব' (সৎ) ও 'অলীক' (অসৎ) বিম্ব কাদের বলে?

উত্তর ঃ (১) 3-3 বিভাগ দেখ। (২) গোলীয় তল দিয়ে লেনসের অক্ষের যে অংশ সীমাবদ্ধ তার মধ্যবিন্দুতে টানা, অক্ষের অভিলম্ব তলকে 'মধ্যতল' বলে। (৩) যে সব লেনসে বেধ (thickness) উপেক্ষা করা হয়, তাদের 'ক্ষীণ' লেনস বলে। দুই বক্রতলে প্রতিসরণ হলেও ক্ষীণ লেনসে মনে করা হয় সম্পূর্ণ প্রতিসরণ যেন এর মধ্যতলে হয়েছে। (৪) ক্ষীণ লেনসে লেনসের কাছের পিঠ থেকে দূরত্ব

মাপা চলে ; নাহলে মধ্যতল থেকে। (৫) যে লক্ষ্যের পরিসর এত ছোট যে তার পরিসর (dimensions—length, breadth, thickness) সংশ্লিষ্ট দৈর্ঘ্যের (u, v বা f-এর) তুলনায় উপেক্ষা করা যায় তাকে বিন্দু-লক্ষ্য বলে। (৬) 3-1 বিভাগ ও 3-3.1 বিভাগের 3.3 চিত্র দেখ। (৭) উত্তল (convex) অর্থে যে তল গোলকের বাইরের তলের মত বাইরের দিকে মুখ করা। অভিসারী লেনস অর্থে যে লেনস আপতিত রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা বাড়ায়। লেনস পদার্থের প্রতিসরাংক লেনসের বাইরের মাধ্যমের প্রতিসরাংকের চেয়ে বেশী হলে উত্তল আকারের লেনস অভিসারী লেনস। এরকম ক্ষেত্রে কথা দুটি একার্থক। (৮) বাস্তব লক্ষ্যের দূরত্ব লেনসের ফোকাস-দূরত্বের চেয়ে কম হলে বাস্তব বিম্ব গঠিত হয় না। (৯) কোন বিন্দু-লক্ষ্য থেকে নির্গত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ যদি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর একই বিন্দুতে মিলিত হয়, তবে এই (দ্বিতীয়) বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বাস্তব বিম্ব (বা সদ্‌বিম্ব) বলে। বাস্তব বিম্ব পর্দায় ধরা যায়। কোন বিন্দু-লক্ষ্য থেকে নির্গত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ যদি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর অন্য কোন বিন্দু থেকে আসছে বলে মনে হয় তবে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অলীক বিম্ব (বা অসদ্ বিম্ব) বলে। অলীক বিম্ব পর্দায় ধরা যায় না। সমতল আয়নায় গঠিত বিম্ব অলীক।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

তাপ (HEAT)

4-1. তাপ সংক্রান্ত পরীক্ষণ সম্বন্ধে কয়েকটি গোড়ার কথা। কোন বস্তুতে তাপ যোগ হলে বা কোন বস্তু থেকে তাপ বেরিয়ে গেলে যে সব পরিবর্তন ঘটে তাদের মধ্যে প্রধান কয়েকটি হল

(১) উষ্ণতা পরিবর্তন ;

(২) দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধের (আয়তনের) পরিবর্তন ও সেই সঙ্গে চাপের পরিবর্তন (চাপ পরিবর্তন গ্যাসের ক্ষেত্রে খুব স্পষ্ট) ;

(৩) অবস্থার পরিবর্তন (কঠিন থেকে তরল, তরল থেকে বাষ্প অথবা এদের বিপরীত প্রক্রিয়া)।

আমাদের যে কটি পরীক্ষণ করণীয় তাতে উষ্ণতার পরিবর্তন, ভর ও তাপ মাপন দরকার হবে। তাপ পরিমেয় (=যা মাপা যায়) রাশি ; ফল প্রকাশে তাপের মান উপযুক্ত এককে প্রকাশ করতে হবে।

উষ্ণতামাপন থার্মমিটার দিয়ে হয়। থার্মমিটার অনেক রকমের থাকলেও আমরা কেবল কাচের নলে ভরা পারা (mercury-in-glass) থার্মমিটার ব্যবহার করব। উষ্ণতা সেলসিয়াস (পুরান 'সেন্টিগ্রেড') ডিগ্রিতে প্রকাশিত হবে। গলন্ত বরফের উষ্ণতা 0° C ও জলের স্বভাবী (normal) স্ফুটনাংক 100°C ধরা হয়। উষ্ণতার এই ব্যবধানের একশ ভাগের একভাগ 1°C। উষ্ণতার পাঠ 1°C এবং দুই উষ্ণতার 'ব্যবধান' 1°C, এই দুটি ক্ষেত্রে '1°C' আলাদা জিনিস বোঝায় বলে অনেকে উষ্ণতার 'ব্যবধান' বোঝাতে 1C° (বা 1C deg অর্থাৎ এক সেলসিয়াস ডিগ্রী) লেখেন। ডিগ্রী চিহ্ন তাতে C-র পরে দেয়া হয়। কিন্তু সকলে এরকম না করায় পাঠককে বুঝে নিতে হয়··· °C চিহ্ন উষ্ণতার পাঠ কি উষ্ণতার ব্যবধান বোঝায়।

থার্মমিটার ব্যবহারে সতর্কতা।

(ক) বিভিন্ন পরীক্ষণে বিভিন্ন পাল্লার থার্মমিটার দরকার হতে পারে। কাজ বুঝে সুবিধামত পাল্লার থার্মমিটার ব্যবহার করবে।

(খ) থার্মমিটার ভঙ্গুর ; সাবধানে নাড়াচাড়া করবে।

(গ) থার্মমিটারের পাঠ চোখের আন্দাজে 0·1° পর্যন্ত (এক ডিগ্রীর দশমাংশ পর্যন্ত) নেয়ার চেষ্টা করবে।

(ঘ) ক্যালরিমিতির কাজে উষ্ণতার পাঠ তাড়াতাড়ি নিতে হয়। কিন্তু থার্মমিটার নির্ণেয় উষ্ণতায় উঠতে কিছু সময় নেয়। সে সময় তাকে দিতে হবে। (জ্বর দেখবার জন্য এইজন্যই থার্মমিটার নির্দিষ্টকাল মুখে বা বগলে রাখতে হয়।)

(ঙ) ব্যবহারকাল ছাড়া অন্য সময় থার্মমিটার খাপে ভরে রাখবে।

4-1.1. তাপের একক ও তাপ-মাপন সংক্রান্ত অতি প্রয়োজনীয় কয়েকটি রাশি। সিজিএস পদ্ধতিতে তাপের একক ক্যালরি calorie ; সংক্ষেপে cal।) 14·5°C থেকে 15·5°C পর্যন্ত এক গ্রাম বিশুদ্ধ জলকে উষ্ণ করতে যে পরিমাণ তাপের দরকার হয় তাকে এক ক্যালরি বলে। আদি উষ্ণতা আলাদা থাকলে এক ডিগ্রী উষ্ণ হতে জল সমান তাপ নেয় না বলে ক্যালরির সংজ্ঞায় আদি উষ্ণতার উল্লেখ দরকার। কিন্তু বিভিন্ন আদি উষ্ণতায় এক ডিগ্রী তাপনের জন্য গৃহীত তাপে প্রভেদ এত কম যে সাধারণ কাজে তা উপেক্ষা করা যায়। আমরা এই প্রভেদ উপেক্ষা করব এবং আদি উষ্ণতা যাই হোক এক গ্রাম জল t C° উষ্ণ হতে t ক্যালরী তাপ নিয়েছে বলে ধরব। (আদি উষ্ণতা 4°C না হলেও 1 cm^3 জলের ওজন আমরা 1g ধরি ; ক্যালরির ক্ষেত্রেও ব্যাপার একই।)

আপেক্ষিক তাপ (Specific heat)। কোন পদার্থের এক গ্র্যামকে এক সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণ করতে যত ক্যালরি তাপের দরকার হয়, তাকে ঐ পদার্থের 'আপেক্ষিক তাপ' (সংকেতে s) বলে। আপেক্ষিক তাপের একক 'প্রতি গ্র্যামে প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াসে এক ক্যালরি' বা সংকেতে 1 cal/g. °C। একে 1 cal g^{-1} °C^{-1} ও লেখা হয়।

[পদার্থ বিজ্ঞানের অগ্রগতির আদিযুগে, যখন মাপনের উপায়গুলি তেমন উন্নতি হয় নি তখন, অনেক মাপন 'তুলনা'য় প্রকাশিত হত। 'আপেক্ষিক' কথাটি তখন থেকেই প্রচলিত হয়। এখন মাপনের পদ্ধতি অনেক উন্নত হওয়ায় তুলনার দরকার হয় না। তবুও 'আপেক্ষিক' কথাটির প্রচলন সম্পূর্ণ পরিত্যক্ত হয় নি। 'আপেক্ষিক গুরুত্ব', 'আপেক্ষিক তাপ' এর প্রকৃষ্ট উদাহরণ। আপেক্ষিক গুরুত্ব তোমরা জান। সিজিএস পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্ব পদার্থের ঘনত্বের মান। এখন 'আপেক্ষিক গুরুত্ব' কথাটি ছেড়ে দিয়ে আমরা 'ঘনত্ব' কথাটি অক্লেশে ব্যবহার করতে পারি, এবং তাতে সুবিধাও বেশী।

তুলনার ভিত্তিতে সংজ্ঞা অনুসারে কোন পদার্থের

$$\text{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{m \text{ গ্র্যাম পদার্থকে } t^\circ\text{C উষ্ণ করতে যে তাপের দরকার হয়}}{m \text{ গ্র্যাম জলকে } t^\circ\text{C উষ্ণ করতে যে তাপের দরকার হয়}}$$

$$= \frac{mst \text{ ক্যালরি}}{mt \text{ ক্যালরি}} = s.$$

এই সংজ্ঞা অনুসারে s সংখ্যা মাত্র। কিন্তু দেখা যায় s-কে প্রথম সংজ্ঞা অনুসারে s cal/g.°C লেখা সুবিধার। তা ছাড়া, আধুনিক লেখায় specific heat কথাটির

বদলে specific heat capacity কথাটি বেশী ব্যবহার হচ্ছে। একে আমরা 'তাপ-ধারিতাংক' বলতে পারি।]

তাপীয়-ধারকত্ব বা তাপ-ধারিতা (Thermal capacity)। কোন বস্তু (body)-কে 1C° উষ্ণ করতে যত ক্যালরি তাপ দরকার হয় তাকে ঐ বস্তুর 'তাপীয়-ধারকত্ব, বা 'তাপ-ধারিতা' বলে। বস্তুটির ভর *m* গ্র্যাম, এর পদার্থের আপেক্ষিক তাপ *s* cal/g. °C এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি 1 C° হওয়ায় প্রয়োজনীয় তাপ $Q=m(g)\times s$ cal/g. °C$=ms$ cal/°C। লক্ষ্য কর আপেক্ষিক তাপ কথাটি পদার্থ (material) সম্বন্ধে প্রযোজ্য ; কিন্তু তাপ-ধারিতা বস্তু (body) সম্বন্ধে প্রযোজ্য। তাপ-ধারিতার সংজ্ঞা অনুসারে **আপেক্ষিক তাপ একগ্রাম ভরের পদার্থের তাপ-ধারিতা।**

জলসম (Water equivalent)। কোন বস্তুকে 1C° উষ্ণ করতে যত ক্যালরি তাপের দরকার হয়, তত গ্র্যাম জলকে ঐ বস্তুর 'জলসম' বলে। জলসমের একক গ্র্যাম (g)। *m* ভর ও *s* আপেক্ষিক তাপের তাপধারিতা *ms* ক্যালরি। ঐ বস্তুর জলসম $W=ms$ গ্র্যাম। লক্ষ্য কর *ms* ক্যালরি তাপ *ms* গ্র্যাম জলকে 1°C উষ্ণ করে। ('জলসম' কথাটির ব্যবহার অপ্রচলিত হয়ে আসছে)।

4-1.2. তাপমাপন ঃ ক্যালরিমিতি (Calorimetry)। উষ্ণতা মাপনে থার্মমিটারের মত সাক্ষাৎভাবে তাপ মাপনের কোন যন্ত্র নাই। বিভিন্ন রাশি মেপে তাদের সম্পর্ক থেকে **গৌণভাবে** তাপের মান পাওয়া যায়। এ ভাবে মাপন যে পাত্রে হয় তাকে **ক্যালরিমিটার (Calorimeter)** বলে। এ অল্প তাপধারিতা এবং বেশী তাপ পরিবাহিতা (Thermal conductivity)-র বেলন আকারের পাতলা একটি পাত্র। সাধারণত এ তামায় তৈরী। তামার আপক্ষিক তাপ প্রায় 0·1 cal/g. °C। 'ক্যালরিমিতি' বলতে তাপমাপন সংক্রান্ত সব রকম কাজ বোঝায়।

মিশ্রণ পদ্ধতি (Method of mixtures)। ক্যালরিমিতির কাজের সবচেয়ে প্রাচীন পদ্ধতি হল 'মিশ্রণ পদ্ধতি'। এই পদ্ধতিতে ক্যালরিমিটারে বিভিন্ন উষ্ণতার বস্তু 'মিশিয়ে' (একসঙ্গে রেখে) সকলে একই উষ্ণতায় আসলে সেই উষ্ণতা মেপে নির্ণেয় রাশি হিসাব করে বার করা হয়।

মিশ্রণ পদ্ধতির মূল তত্ত্ব (Principle of the method of mixtures)। এতে বলে 'ক্যালরিমিটারে তাপ প্রবেশ করতে না দিলে বা তাপ বার হতে না দিলে

উষ্ণতর বস্তুগুলির বর্জিত তাপ=শীতলতর বস্তুগুলির গৃহীত তাপ'

ক্যালরিমিটারে তাপের আগম বা নির্গম সম্পূর্ণ বন্ধ করা যায় না। কিন্তু ক্যালরিমিটারকে তাপ কুপরিবাহী পদার্থ দিয়ে ঘিরে বাইরের সঙ্গে এর তাপ বিনিময় কমান যায়।

ক্যালরিমিটারের ভিতরে বিভিন্ন পদার্থে তাপ লেনদেনের সুবিধার জন্য কোন তরল (সাধারণত খানিকটা জল) নেয়া হয়। জল নাড়বার জন্য একটি কাঠি (Stirrer) থাকে। ক্যালরিমিটার পাত্র ও কাঠি উভয়েই সাধারণত তামায় তৈরী।

4-2. পরীক্ষণ 18 (Experiment 18)

মিশ্রণ পদ্ধতিতে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা

(To determine the specific heat of a solid by the method of mixtures)।

তত্ত্ব (Theory)। ধরা যাক

ক্যালরিমিটার ও নাড়বার কাঠির এক সঙ্গে ভর	$=m_1$g
ক্যালরিমিটারে নেয়া জলের ভর	$=m_2$g
ক্যালরিমিটার পদার্থের (সাধারণত তামার) আপেক্ষিক তাপ	$=s_1$ cal/g. °C
ক্যালরিমিটারে রাখা জলের আপেক্ষিক তাপ	$=1$ cal/g. °C
ক্যালরিমিটার কাঠি ও জলের আদি উষ্ণতা	$=t_1$ °C
পরীক্ষণীয় বস্তুর ভর	$=m$ g
বস্তুটি যে পদার্থে তৈরী তার আপেক্ষিক তাপ (নির্ণেয় রাশি)	$=s$ cal/g. °C
বস্তুটির আদি উষ্ণতা	$=t_2$ °C ($<t_1$)
মিশ্রণের পর সকল বস্তুর যৌথ (common) উষ্ণতা	$=t$ °C

পরীক্ষণীয় বস্তুটির উষ্ণতা (t_2) অন্যগুলির উষ্ণতা (t_1) থেকে বেশী হলে তাপ বর্জন করবে। বর্জিত তাপের মান$=ms\ (t_2-t)$ cal। ক্যালরিমিটার ও তার ভিতরের বস্তু এই তাপ গ্রহণ করে উষ্ণতর হয়ে t °C উষ্ণতায় আসে। ক্যালরিমিটারের সঙ্গে বাইরের কোন তাপ বিনিময় হয়নি ধরলে বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ হবে। এক্ষেত্রে ক্যালরিমিটার ও কাঠি, এবং জল বর্জিত তাপ পেয়েছে। ক্যালরিমিটার ও কাঠিতে গৃহীত তাপ$=m_1s_1\ (t-t_1)$ cal, জলে গৃহীত তাপ$=m_2\ (t-t_1)$ cal। অতএব

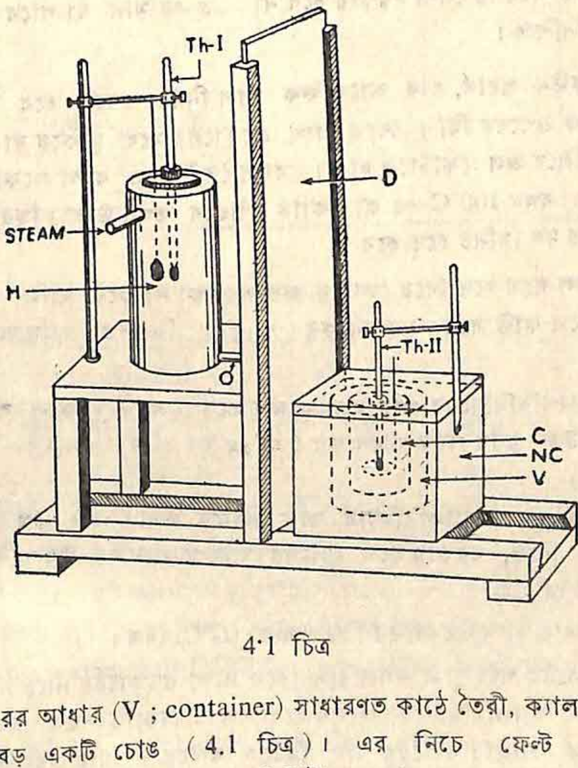
$$ms\ (t_2-t)=m_1s_1\ (t-t_1)+m_2\ (t-t_1)$$

বা $s=(m_1s_1+m_2)\ (t-t_1)/m\ (t_2-t)$

[s_1-এর মান শিক্ষক বলে দেবেন। $m_1s_1=\mathrm{W}=$ক্যালরিমিটার ও কাঠির জলসম (Water equivalent)।]

যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। ক্যালরিমিটার ও নাড়বার কাঠি (তামার হলেই ভাল) ; ক্যালরিমিটার ঘিরে রাখার আধার (container) ; পরীক্ষণীয় পদার্থের টুকরা (গ্রানাইট পাথর, সাদা মার্বল, ক্রাউন কাচ বা পোর্সিলেন হলে ভাল হয় ; এদের s প্রায় 0·2 (cal/g.°C) ; দুটি থার্মমিটার (একটি 0° থেকে 100°C পাল্লার ; অন্যটি 0°→50°C পাল্লার এবং ডিগ্রীর দশমাংশে বা পঞ্চমাংশে ক্রমাংকিত হলে ভাল) ; তরল ; সুতা ; তাপনের জন্য বুনসেন বার্নার, তেপায়া (tripod) ও তারের জাল (gauze) ; দণ্ডতুলা ও বাটখারা ; বাষ্প প্রকোষ্ঠ।

[যন্ত্রের বর্ণনা। ক্যালরিমিটার (C) তামার তৈরী বেলন আকারের ছোট একটি পাত্র। এর সঙ্গে জল নাড়বার একটি কাঠি সাধারণত থাকে ; এটাও তামার ;



4·1 চিত্র

ক্যালরিমিটারের আধার (V ; container) সাধারণত কাঠে তৈরী, ক্যালরিমিটারের চেয়ে কিছু বড় একটি চোঙ (4.1 চিত্র)। এর নিচে ফেল্ট বা কর্কের আসন ; এই আসনের ওপরেই ক্যালরিমিটার বসান হয়। আধার ও আসন অপরিবাহী বাক্সের (NC)-মধ্যে থাকে ফলে বাইরেরর সঙ্গে তাপ বিনিময় কম হয়।

কঠিন পদার্থ গরম করার জন্য বাষ্প প্রকোষ্ঠ (H) ব্যবহার করা হয়। এর ওপরের দিকে একটি প্রবেশ নল দিয়ে বাষ্প ভিতরে যায় এবং নীচের দিকে একটি

নির্গমন নল দিয়ে বাষ্প বার হয়ে আসে। বাষ্প প্রকোষ্ঠ থেকে তাপ যাতে ক্যালরিমিটারে না যায় সেজন্য একটি কাঠের পর্দা (Partition) D থাকে। থার্মোমিটার I-এর (0°→100°C) সাহায্যে বাষ্প প্রকোষ্ঠের মধ্যে বস্তুর উষ্ণতা ও থার্মোমিটার II-এর (0°→50°C) সাহায্যে ক্যালরিমিটারের মধ্যে তরলের উষ্ণতা মাপা হয়।]

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)।

(১) পরীক্ষণীয় বস্তুটি ওজন কর (m g)। ওজন নিকটতম ডেসিগ্রাম পর্যন্ত করলেই হবে। আর বেশী সূক্ষ্মতায় যাওয়া নিরর্থক, কারণ কোন ক্ষেত্রেই আমাদের তিনটি সার্থক সংখ্যার বেশী দরকার হবে না। s এর মান যা পাবে তাতে দ্বিতীয় সংখ্যাই অনিশ্চিত।

(২) কঠিন পদার্থ, যার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করতে হবে এবং থার্মোমিটার I-কে ওপরের ছিপি থেকে বাষ্প প্রকোষ্ঠের মধ্যে ঢুকিয়ে দাও। বুনসেন বার্ণার জ্বালিয়ে জল ফোটাতে দাও। বাষ্প তৈরী হলে বাষ্প প্রকোষ্ঠ গরম হতে থাকবে এবং যখন 100°C-এর কাছাকাছি পৌঁছবে তখন উষ্ণতা স্থির হবে। স্থির উষ্ণতা অন্তত দশ মিনিট হতে হবে।

(৩) জল গরম হতে দিয়ে ফোটার জন্য অপেক্ষা না করে, খালি ক্যালরিমিটার (কাঠি থাকলে কাঠি সমেত) ওজন কর ($m_1 g$)। নিকটতম গ্র্যাম অবধি করলেই চলবে।

(৪) ক্যালরিমিটারের প্রায় অর্ধেক জল ভরে (কাঠি থাকলে কাঠি সমেত) আবার নিকটতম গ্র্যাম পর্যন্ত ওজন কর ($m'_1 g$)। $(m'_1 - m_1)\, g$ = গৃহীত জলের ভর ($m_2\, g$)।

(৫) জলসমেত ক্যালরিমিটার তার আধারে বসাও এবং কম পাল্লার অন্য থার্মমিটারটি দিয়ে, দরকার হলে চোখের আন্দাজে জলের উষ্ণতা 0·1 সূক্ষ্মতায় মাপ (t_1°C)।

(৬) এবার বাষ্প প্রকোষ্ঠের স্থির উষ্ণতা (t_2°C) দেখ।

(৭) কাঠের পর্দা তুলে ক্যালরিমিটারকে বাষ্প প্রকোষ্ঠের নীচে নিয়ে এসো। কঠিন পদার্থটি ক্যালরিমিটারের জলের মধ্যে যত তাড়াতাড়ি সম্ভব ফেলো। লক্ষ্য রেখো যাতে ক্যালরিমিটারের জল ছিটকে বাইরে না যায় এবং কঠিন পদার্থটি জলের মধ্যে যেন ডুবে থাকে।

(৮) ক্যালরিমিটারকে আগের জায়গায় নিয়ে কাঠি দিয়ে জল নাড়তে থাক। সব সময় সতর্ক থেকো থার্মোমিটারের বাল্বে যেন আঘাত না লাগে। থার্মোমিটারে চরম উষ্ণতা কত হল তা 0·1°C উষ্ণতায় দেখ। এই মানই t°C।]

নিরীক্ষা (Observations) ।

ক্যালরিমিটারের পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $(S_1) = \cdots cal/g.°C$

পর্য-বেক্ষণ সংখ্যা	পরীক্ষণীয় বস্তুর ভর (m)	শূন্য ক্যালরি-মিটারের ভর (m_1)	ক্যালরি-মিটারের +জলের ভর (m'_1)	জলের ভর $m_2 = (m'_1 - m)$	ক্যালরি-মিটারের জলের প্রাথমিক উষ্ণতা (t_1)	উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা (t_2)	মিশ্রণের পর চরম উষ্ণতা (t)
1.	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g $+(\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g $+(\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g $+(\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	$\cdots-\cdots$ $=\cdots$g	$\cdots$°C	$\cdots$°C	$\cdots$°C

হিসাব (Calculations) ।

বর্জিত তাপ $= m\,s\,(t_2 - t)$ cal $= \cdots \times s$ cal

গৃহীত তাপ $= (m_1 s_1 + m_2)\,(t - t_1) = \cdots$ cal

$$\therefore \quad s = \frac{(m_1 s_1 + m_2)\,(t - t_1)}{m(t_2 - t)} = \frac{\cdots cal}{\cdots g.°C} = \cdots cal/g.\ °C$$

ফল (Result) । নির্ণেয় রাশি $s = \cdots$cal/g. C

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ।

(১) পরীক্ষণীয় বস্তুটি ওজন করে সুতার সাহায্যে বাষ্প প্রকোষ্ঠের মধ্যে একটি থার্মোমিটার সমেত ঢুকিয়ে দেয়া হল। জল ফুটাতে দেয়া হল।

(২) ইতিমধ্যে খালি ক্যালরিমিটার ও প্রায় অর্ধেক জলভরা ক্যালরিমিটার ওজন করা হল।

(৩) ক্যালরিমিটার আধারে রেখে জলের উষ্ণতা মাপা হল।

(৪) বাষ্প প্রকোষ্ঠের তাপমাত্রা অন্ততঃ পাঁচ মিনিট স্থির আছে এ সম্বন্ধে নিশ্চিত হয়ে, এর তাপমাত্রা দেখা হল।

(৫) ক্যালরিমিটার বাষ্প প্রকোষ্ঠের নীচে নিয়ে গিয়ে কঠিন পদার্থটিকে তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারের জলে ডুবানো হল।

(৬) ক্যালরিমিটারের জলের উষ্ণতা সবচেয়ে কত বেশী ওঠে তা দেখা হল।

সতর্কতা। (১) বাষ্প প্রকোষ্ঠ থেকে পরীক্ষণীয় বস্তুটি তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারে ডুবান উচিত। ডুবানর সময় তরল ছিটকিয়ে না যায়।

(২) ক্যালরিমিটারের থার্মমিটারে তরল নাড়ার সময় যেন আঘাত না লাগে।

(৩) বুনসেন শিখা থেকে যেন ক্যালরিমিটারে তাপ না আসে। সে জন্য ক্যালরিমিটার আড়ালে এবং দূরে রাখা উচিত।

(৪) লম্বন ত্রুটি এড়িয়ে থার্মোমিটারের পাঠ নিতে হবে।

মন্তব্য। (১) এরকম পরীক্ষণে ক্যালরিমিটারের সঙ্গে বাইরের তাপ বিনিময় বন্ধ করা যায় না। অনেকটা কমালেও কিছু তাপ ক্যালরিমিটার থেকে পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণে বার হয়। তা ছাড়া বাষ্প প্রকোষ্ঠ থেকে ক্যালরিমিটারে উষ্ণ বস্তুটি সরাতে তার উষ্ণতা সামান্য হলেও একটু কমে। এই সব কারণে পরীক্ষণের ফল খুব সূক্ষ্ম হয় না। দ্বিতীয় সার্থক সংখ্যাতেই অনিশ্চয়তা থেকে যায়।

(২) ক্যালরিমিটারের তরল জল হলে, জল বেশী নিলে জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি কম হয়। সেজন্য বস্তুটি যত কম জলে ডুবতে পারে ক্যালরিমিটারে তার চেয়ে সামান্য বেশী জল নেয়া ভাল।

(৩) $(t-t_1)$ মাপনে ত্রুটি সবচেয়ে বেশী হয়। তরল বেশী নিলে $(t-t_1)$ $1^\circ - 2^\circ$ হয়। প্রত্যেক পাঠে $0{\cdot}1 - 0{\cdot}2\ C^\circ$ ত্রুটি থাকতে পারে। অতএব এই একটি কারণেই শতকরা ত্রুটি 10% এর বেশী হতে পারে। ক্যালরিমিটারের সঙ্গে বাইরের তাপ লেনদেনে 5% ত্রুটিও হয় না।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) কার আপেক্ষিক তাপ বার করছো? আপেক্ষিক তাপ কাকে বলে? কথাটি কোন বস্তু সম্বন্ধে প্রযোজ্য, না যে পদার্থে তৈরী তার সম্বন্ধে? (২) আপেক্ষিক তাপ সংখ্যা মাত্র, না একক আছে? (৩) ক্যালরির সংজ্ঞা কি? এতে উষ্ণতার উল্লেখ করতে হয় কেন? (৪) ক্যালরিমিটারের সঙ্গে বাইরের তাপ বিনিময় হলে ক্ষতি কি? (৫) তাপ বিনিময় কমাবার তুমি কি ব্যবস্থা করেছ? (৬) মিশ্রণ পদ্ধতিতে কাজ করবার মূল তত্ত্ব কি? (৭) ক্যালরিমিটারে বেশী জল নিলে কী হয়?

উত্তর। (১) থেকে (৩) 4-1.1 বিভাগ দেখ। (৪) মিশ্রণ পদ্ধতির মূলতত্ত্ব খাটে না (4-1.2 বিভাগ)। (৫) ক্যালরিমিটারকে আধারের ভিতর কুপরিবাহী পদার্থের ওপর বসান হয়েছে। এতে পরিবহণ ও পরিচলনে তাপক্ষয় কমে। বিকিরণ বন্ধ হয় না। (৬) 4-1.2 বিভাগ দেখ। (৭) উষ্ণতা বৃদ্ধি খুব কম হবে। $(t-t_1)$ খুব কম হওয়ার ফলে বেশী ত্রুটি হবে ('মন্তব্যে'র প্যারা দেখ।)

আপেক্ষিক তাপ (cal/g. °C এককে)

অ্যালুমিনিয়াম	0·21	কাচ (ফ্লিন্ট)	0·12
পিতল	0·089	মার্বল	0·21-0·22
তামা	0·091	পোর্সিলেন	0·18
কাচ (ক্রাউন)	0·16	বালি	0·19

4-3. লীণ তাপ (Latent heat)।

কোন কঠিন পদার্থকে তরলে পরিণত করতে গলনাংকে তুলে কিছু অতিরিক্ত তাপ দিতে হয়। এই অতিরিক্ত তাপ না পেলে তা গলে না। পদার্থ বিশুদ্ধ ও কেলাসিত হলে গলনের সময় গলনাংকে উষ্ণতা স্থির থাকে।

একইভাবে, কোন তরল পদার্থকে স্ফুটনে বাষ্পীয় অবস্থায় পরিণত করতে স্ফুটনাংকে তুলে কিছু অতিরিক্ত তাপ দিতে হয়। এই অতিরিক্ত তাপ না পেলে তরল বাষ্পিত হয় না। বিশুদ্ধ তরল স্ফুটনের সময় স্ফুটনাংকে উষ্ণতা স্থির থাকে।

এক গ্র্যাম কঠিন পদার্থকে উষ্ণতা পরিবর্তন না করে তরল অবস্থায় পরিণত করতে যত ক্যালরি তাপের দরকার হয় তাকে ঐ পদার্থের **গলনের লীন তাপ (Latent heat of fusion)** বলে।

এক গ্র্যাম তরলকে উষ্ণতা পরিবর্তন না করে বাষ্পীয় অবস্থায় পরিণত করতে যত ক্যালরি তাপের দরকার হয় তাকে ঐ তরল পদার্থের **বাষ্পণের লীন তাপ (Latent heat of vaporization)** বলে।

লীন তাপ cal/g এককে প্রকাশিত হয়। বরফের লীন তাপ 80 cal/g বলতে বুঝায় বরফ গলনাংকে থাকলে প্রতি গ্র্যামের জন্য আরও 80 ক্যালরি করে তাপ যোগ না করলে বরফ গলবে না। গলনের সময় বরফের (এবং বরফগলা জলের) উষ্ণতা স্থির থাকবে।

অবস্থান্তর (Change of state) বিপরীত দিকে হলে, অর্থাৎ বাষ্প তরলে পরিণত হওয়া কালে, বা তরল জমে কঠিন হওয়া কালে, প্রতি গ্র্যাম পদার্থ তার বাষ্পণের বা গলনের লীন তাপ ছেড়ে দেয়। এই বিপরীত ক্রিয়ার সময়ও উষ্ণতার পরিবর্তন হয় না।

মিশ্রণ পদ্ধতিতে লীন তাপ বার করা যায়। বরফের ক্ষেত্রে এরকম পরীক্ষণ নিচে বর্ণনা করা হল। বরফের লীন তাপ 79·7 cal/g।

4-3.1. পরীক্ষণ 19 (Experiment 19)

বরফের গলনের লীন তাপ নির্ণয় করা
(To determine the latent heat of fusion of ice)

তত্ত্ব (**Theory**) ঃ ধরা যাক

শূন্য ক্যালরিমিটারের জলসম	$=W$ g
ক্যালরিমিটারে নেয়া জলের ভর	$=m_2$ g
এই জলের আদি উষ্ণতা	$=t_1$°C
জলে গলান বরফের ভর	$=m$ g
বরফ গলার পর ক্যালরিমিটার ও তার ভিতরের জলের নিম্নতম উষ্ণতা	$=t$°C
গলন্ত বরফের উষ্ণতা	$=0$°C
বরফের লীন তাপ	$=L$ cal/g

ক্যালরিমিটারের সঙ্গে বাইরের কোন তাপ বিনিময় না হলে বর্জিত তাপ= গৃহীত তাপ। এক্ষেত্রে বরফ গলবার সময় তাপ নিয়েছে, এবং ক্যালরিমিটার ও জল তাপ দিয়ে কিছু ঠাণ্ডা হয়েছে। অতএব

গৃহীত তাপ=0°C-তে বরফ গলনের তাপ+বরফগলা জল 0°C হইতে t°C পর্যন্ত উষ্ণ হওয়ার তাপ$=(mL+mt)$ cal

বর্জিত তাপ=ক্যালরিমিটার ও তার গোড়ার জল t_1°C হতে t°C পর্যন্ত ঠাণ্ডা হওয়ার তাপ$=(W+m_2)(t_1-t)$ cal, কারণ তাপ দেয়া নেয়ার ব্যাপারে ক্যালরিমিটার W গ্র্যাম জলের সমান।

(ক্যালরিমিটারের ভর $m_1 g$ ও তার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s_1 cal/g.°C হলে জলসম $W=m_1 s_1$ গ্র্যাম। s_1-এর মান জেনে নেয়া যেতে পারে।)

অতএব $mL+mt=(W+m_2)(t_1-t)$

$$\text{বা} \quad L=\frac{(W+m_2)(t_1-t)-mt}{m}$$

[কাজের সময় শিশিরাংক (Dew point) যদি ক্যালরিমিটারের জলের প্রাথমিক উষ্ণতার চেয়ে t' C° নিচে হয়, তা হলে গোড়ায় ক্যালরিমিটারের জল t' C° উষ্ণ করে নিলে সুবিধা হবে। এ করলে বাইরের সঙ্গে ক্যালরিমিটারের তাপ লেন-দেনের প্রায় সমতা ঘটবে, এবং তাপ বিনিময়ের জন্য কাজে ত্রুটি কম হবে।]

যন্ত্রাদি (**Apparatus**) ।

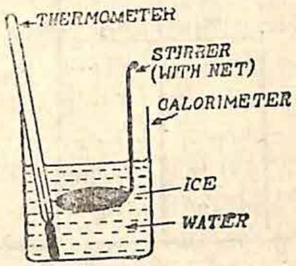
জাল লাগান নাড়বার কাঠি সমেত ক্যালরিমিটার ; ক্যালরিমিটারের আধার ; থার্মমিটার (0°→50°C পাল্লার ; ডিগ্রীর পঞ্চমাংশে ক্রমাঙ্কিত থাকলে ভাল) ;

বরফের ছোট ছোট টুকরো; ব্লটিং কাগজ; জল; সাধারণ তুলা ও বাটখারার বাক্স।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)।

(১) নাড়বার কাঠি সমেত শুকনা, খালি ক্যালরিমিটার ওজন কর (m_1 g)। ক্যালরিমিটার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s_1 শিক্ষকের কাছ থেকে জেনে নাও।

(২) ক্যালরিমিটারের অর্ধেক জলে ভরে কাঠি সমেত ওজন কর (m_1' g)। জলের ভর হবে $(m_1' - m_1)$ g$=m_2$ g। ক্যালরিমিটার তার আধারে রাখ।



বরফ 4.2 চিত্র (জলের নিচে গলাবার ব্যবস্থা)

(৩) শিক্ষকের কাছ থেকে শিশিরাংক (Dew point) জেনে নাও। ক্যালরিমিটার জলের উষ্ণতা চোখের আন্দাজে ডিগ্রীর দশমাংশ পর্যন্ত নিয়ে পাঠ লিখে রাখ।

(৪) এক টুকরা বরফ নিয়ে তার গায়ে লাগা জল ব্লটিং কাগজে শুষে নাও। বরফের এই শুকনা টুকরা তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারের জলে ফেল। বরফ ফেলতে গিয়ে ক্যালরিমিটারের জল ছিটকিয়ে বার হয়ে না যায়। জাল লাগান নাড়বার কাঠি দিয়ে বরফ টুকরা জলের নিচে চেপে (4.2 চিত্র) বরফ না গলা পর্যন্ত জল নাড়তে থাক। বরফ টুকরা গলে গেলে উষ্ণতা কত হল মোটামুটি দেখ। এইভাবে এক এক টুকরা করে বরফ জলে গলাও এবং উষ্ণতা শিশিরাংকের কাছে আসলে বরফ ফেলা বন্ধ কর।

(৫) বরফ ফেলা বন্ধ করার পর জল ভাল করে নাড় এবং উষ্ণতা সবচেয়ে কম কত হল দেখে লিখে রাখ। এটাই তত্ত্বের t°C। t-র পাঠ চোখের আন্দাজে ডিগ্রীর দশমাংশ পর্যন্ত নাও।

(৬) ক্যালরিমিটার আবার ওজন কর (m_1''g)। বরফ গলেছে $m_1'' - m_1' = mg$।

নিরীক্ষা (**Observations**) ঃ ক্যালরিমিটারের পদার্থের আপেক্ষিক তাপ =...Cal/g °c

শিশিরাংক$=\cdots{}^\circ c$

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	স্টায়ার সমেত শূন্য ক্যালরিমিটারের ভর	জলভরা ক্যালরিমিটারের ভর	ক্যালরিমিটারের জলের ভর	জলের প্রাথমিক উষ্ণতা	জলের নিম্নতম উষ্ণতা	ক্যালরিমিটারের জলের ভর + বরফ গলা জলের ভর	গলান বরফের ভর
	m_1	m_1'	$m_2=(m_1'-m_1)$	t_1	t	m_1''	$m=m_1''-m_1'$
1.	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g $+(\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g $+(\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	$\cdots$g $-\cdots$g $=\cdots$g	$\cdots{}^\circ c$	$\cdots{}^\circ c$	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g $+(\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	$\cdots$g$-\cdots$g $=\cdots$g

হিসাব (Calculations) ঃ

বরফের গৃহীত তাপ $=\cdots$cal ($m\text{L}+mt$)

ক্যালরিমিটার ও জলের বর্জিত তাপ $=\cdots$cal ($m_1s_1+m_2$) (t_1-t)

$$\therefore\ m\text{L}+mt=(m_1s_1+m_2)(t_1-t)$$

$$\text{বা}\ \text{L}=\frac{(m_1s_1+m_2)(t_1-t)}{m}-t=\cdots(\text{cal/g})$$

ফল (Result)। নির্ণেয় লীন তাপ L$=\cdots$cal/g.

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)।

(১) নাড়বার কাঠিসমেত শুকনা, খালি ক্যালরিমিটার ওজন করা হল। এর আপেক্ষিক তাপ s_1 জেনে নিলাম।

(২) ক্যালরিমিটারের অর্ধেক জলে ভরে কাঠিসমেত আবার ওজন করা হল। এতে প্রথম নেয়া জলের ওজন পাওয়া গেল। ক্যালরিমিটার তার আধারে রাখলাম।

(৩) ঘরের উষ্ণতা ও শিশিরাংক জেনে নেয়া হল।

(৪) বরফ যোগ করার আগে ক্যালরিমিটারের জলের উষ্ণতা সূক্ষ্মভাবে দেখে লিখে রাখা হল।

(৫) বরফের ছোট ছোট টুকরা এক একটি করে ব্লটিং কাগজে শুকিয়ে জলে ফেলা হতে লাগল। উষ্ণতা শিশিরাংকের কাছে আসলে বরফ দেয়া বন্ধ করা হল।

(৬) জল ভাল করে নেড়ে উষ্ণতা সবচেয়ে কম কত হয় তা সূক্ষ্মভাবে দেখা হল।

(৭) জল ও কাঠিসমেত ক্যালরিমিটার আবার ওজন করে কতটা বরফ গলান হয়েছে তার ভর বার করা হল।

সতর্কতা (Precautions)।

(১) বরফের সঙ্গে জল লেগে না থাকে সেজন্য প্রত্যেক টুকরা বরফ হতে ব্লটিং কাগজ দিয়ে জল শুষে নেয়া দরকার। (এ না করলে আসলে বরফ যতটা গলেছে হিসাবে পাওয়া মান তার চেয়ে বেশী হত। ফলে L-এর মান হত কম।)

(২) অবম (minimum) উষ্ণতা শিশিরাংকে পৌঁছাতে দেয়া হয়নি। (হতে দিলে ক্যালরিমিটারের গায়ে বায়ুর জলীয় বাষ্প জল হয়ে জমত। ফলে ক্যালরিমিটার খানিকটা অবাঞ্ছিত এক অনির্ণেয় তাপ পেত। এতেও L-এর মান হত কম।)

(৩) জল আগাগোড়া নেড়ে যাওয়া উচিত।

(৪) লম্বন ত্রুটি এড়িয়ে থার্মোমিটার পাঠ নিতে হবে।

[**বিশেষ মন্তব্য।**

বর্ষার দিনে এ পরীক্ষণ করতে না দেয়াই ভাল। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকলে শিশিরাংক ঘরের উষ্ণতার কাছাকাছি থাকে। ফলে বেশী বরফ যোগ করা যায় না এবং জলও বেশী ঠাণ্ডা করা যায় না। এতে পরীক্ষণে ত্রুটি বেশী হবার আশংকা থাকে।]

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) লীন তাপ কাকে বলে? এর একক কি? কিসের লীনতাপ বার করছো? (২) মিশ্রণ পদ্ধতিতে করবার মূলতত্ত্ব কি? (৩) ক্যালরির সংজ্ঞা কি? (৪) ক্যালরিমিটারের সঙ্গে বাইরের তাপ বিনিময় হলে ক্ষতি কি? (৫) তাপ বিনিময় কমাবার জন্য কি ব্যবস্থা করা যায়? (৬) শিশিরাংক কাকে বলে? জল শিশিরাংকের চেয়ে বেশী ঠাণ্ডা হলে দোষ কি? (৭) ক্যালরিমিটারকে আধারে রাখ কেন?

উত্তর। (১) 4-3 বিভাগ দেখ। বরফের। (২) 4-1.2 বিভাগ দেখ। (৩) 4-1.1 বিভাগ দেখ। (৪) মিশ্রণ পদ্ধতির মূলতত্ত্ব খাটে না (4-1.2 বিভাগ)। (৫) জল যতটা ঠাণ্ডা করা হবে, আগে ততটা উষ্ণ করে নেয়া হলে পরিবহণ,

পরিচলন ও বিকিরণে তাপক্ষয় ও তাপলাভ প্রায় সমান হবে। তবে কাজের সময় হাওয়ার পরিবর্তন হলে তার জন্য পরিচলনে তাপক্ষয় ও তাপলাভ বেশী অসমান হবে। (৬) যে উষ্ণতায় ঘরের বায়ু এতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত হয় তাকে শিশিরাংক বলে। জল শিশিরাংকের চেয়ে বেশী ঠাণ্ডা হলে ক্যালরিমিটারের গায় বায়ুর জলীয় বাষ্প জমবে। জমার সময় তা নিজের লীন তাপ ক্যালরিমিটারকে দেবে। এতে ক্যালরিমিটার বাইরে থেকে তাপ পাওয়ায় কাজে ত্রুটি ঘটবে। লব্ধ তাপের মান যথেষ্ট হতে পারে। (৭) পরিবহন ও পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ যাতে বাইরে থেকে না আসে।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ | শব্দ (SOUND)

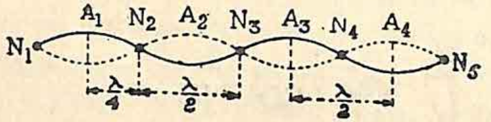
5-1. শব্দ সংক্রান্ত পরীক্ষণ সম্বন্ধে কয়েকটি গোড়ার কথা। শব্দ সংক্রান্ত পরীক্ষণে (ক) পরবশ কম্পন (Forced vibration), (খ) অনুনাদ (Resonance) ও (গ) স্থাণুতরঙ্গ বা স্থিরতরঙ্গ (Stationary waves) সম্বন্ধে একটু প্রাথমিক জ্ঞান থাকা সুবিধার।

(ক) **পরবশকম্পন (Forced vibration)।** কোন দোলক দুলিয়ে দিলে তা নির্দিষ্ট কম্পাংকে দুলতে থাকে। এ দোলকের **স্বভাব কম্পন (Natural** বা **free vibration)।** দোলক পিণ্ডে সুতা বেঁধে সেই সুতার সাহায্যে তুমি দোলককে তোমার ইচ্ছামত যে কোন কম্পাংকে দোলাতে পার। এ দোলকের 'পরবশ কম্পন'। প্রত্যেক বস্তুই বাধাহীন অবস্থায় দুলতে বা কাঁপতে পারলে একটা নির্দিষ্ট কম্পাংকে কাঁপে। কিন্তু অন্য কম্পাংকের প্রত্যাবর্তী (alternating) বল প্রয়োগে তাকে কাঁপালে তা এই চালক বল (driving force)-এর কম্পাংকে কাঁপে। এরকম কম্পন 'পরবশ' কম্পন। পরবশ কম্পনে কম্পনের বিস্তার (amplitude) সাধারণত কম হয়।

(খ) **অনুনাদ (Resonance)।** চালক বলের কম্পাংক কোন বস্তুর স্বভাব কম্পনের কম্পাংকের সমান হলে এরকম চালক বলের ক্রিয়ায় বস্তুর কম্পনের বিস্তার অনেক বেশী হয়। দোলনায় ঠিক সময় ধাক্কা দিয়ে দোলনের বিস্তার বাড়ান এরকম ক্রিয়ার উদাহরণ। এই ক্রিয়াকে 'অনুনাদ' বলে। অনুনাদে চালক বস্তু (driver) থেকে চালিত বস্তুতে (driven body) সবচেয়ে বেশী শক্তি স্থানান্তরিত হয়।

(গ) **স্থির তরঙ্গ বা স্থাণু তরঙ্গ (Stationary waves)।** দুটি একই রকম (একই কম্পাংক ও বিস্তারের) তরঙ্গমালা এক রেখায় বিপরীত দিক থেকে এসে উপরিপাতিত হলে মাধ্যমের যে রকম কম্পন হয়, তাকে 'স্থির' বা 'স্থাণু' তরঙ্গ বলে। স্থিরতরঙ্গে তরঙ্গ গতির রেখায় নির্দিষ্ট দূরত্ব পর পর কোন কম্পন থাকে না; এই স্থির বিন্দুগুলিকে **নিস্পন্দ বিন্দু (Node)** বলে। পর পর দুই নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের অংশে মাধ্যম কণার বিস্তার ক্রমশ বেড়ে দুই বিন্দুর ঠিক মাঝখানে সবচেয়ে বেশী হয়। চরম বিস্তারের এই অবস্থানগুলিকে **সুস্পন্দ বিন্দু (Antinode)** বলে। উপরিপাতিত তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ হলে এক নিস্পন্দ বিন্দু থেকে এর ঠিক

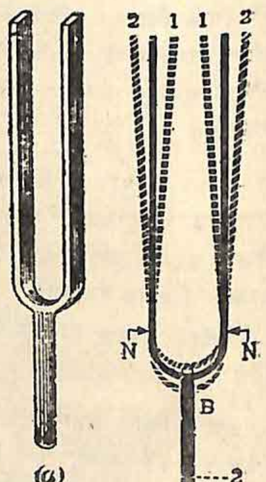
পরের সুস্পন্দ বিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব $\lambda/4$। পর পর দুই নিস্পন্দ বিন্দু বা দুই সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $\lambda/2$ (5.1 চিত্র)।



5.1 চিত্র (চিত্রের N নোড ও A অ্যান্টিনোড। দুই বাঁকা রেখার মধ্যে দূরত্ব মাধ্যম কণার কম্পনের সীমা।)

5-1.1. টিউনিং ফর্ক (Tuning fork)। শব্দ সংক্রান্ত পরীক্ষণে টিউনিং ফর্ক (5.2*a* চিত্র) অপরিহার্য যন্ত্র। টিউনিং ফর্ক ইস্পাতে তৈরী U আকারের দণ্ড এবং দণ্ডের মাঝখানে নিচের দিকে হাতল লাগান। এক টুকরা রবার বা ফেল্টে ফর্কের এক বাহু দিয়ে আঘাত করলে ফর্ক একটা **নির্দিষ্ট কম্পাংকে** কাঁপতে থাকে। কম্পন সংখ্যা ফর্কের গায়ে হাতলের ওপরের অংশে U-এর গায়ে লেখা থাকে। কম কম্পন সংখ্যার ফর্ক আকারে বড়; বেশী কম্পন সংখ্যার ফর্ক আকারে ছোট।

ফর্ক কিভাবে কাঁপে তা 5.2 (*b*) চিত্রে দেখান হচ্ছে। দুই বাহু একসঙ্গে ভিতরের দিকে আসে (অবস্থান 1) ও একসঙ্গে বাইরের দিকে যায় (অবস্থান 2)। প্রত্যেক বাহুর নিচের দিকে দুটি স্থান (চিত্রের N) কাঁপে না; স্থির থাকে। এরা ফর্কের নোড। দুই নোডের মাঝের বাঁকা অংশ ফর্ক কাঁপার সঙ্গে কিভাবে ওঠানামা করে তা ছবি থেকেই বোঝা যাবে। তার ফলে ফর্কের হাতলও ওঠে নামে। ফর্কের হাতলের ওঠানামা ফর্কের ক্রিয়ার খুব প্রয়োজনীয় অঙ্গ। ফর্ক কাঁপিয়ে হাতল কোন তক্তার ওপর চেপে ধরলে এর ওঠানামার জন্য তক্তায় পরবশ কম্পন হবে। এর কম্পাংক ফর্কের কম্পাংক। তক্তা ঐ কম্পাংকে বায়ুতে শব্দ-তরঙ্গের সৃষ্টি করায় আমরা ফর্কের কম্পাংকের জোরাল শব্দ শুনতে পাব। ফর্ক কাঁপিয়ে হাতল হাতে ধরে থাকলে শব্দ খুব ক্ষীণ হয়। ফর্ক নিজে বায়ুতে যে শব্দ-তরঙ্গ সৃষ্টি করে তার কম্পাংক অবশ্যই ফর্কের কম্পাংক; কিন্তু এই শব্দ অতি ক্ষীন।

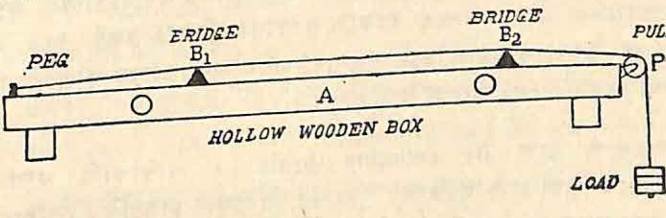


5.2 চিত্র (টিউনিং ফর্ক, a-স্থির; b-কম্পমান।)

ফর্ক ব্যবহারে সতর্কতা। ফর্ক কাঁপাতে এর বাহু দিয়ে কখনও কোন কঠিন বস্তুতে আঘাত করবে না। রবারের টুকরা বা ফেল্টের টুকরায় আঘাত করা সবচেয়ে ভাল। ফর্কের বাহু বেশী খাট না হলে দুই

বাহুর মাথা দু আঙুল দিয়ে ভিতরের দিকে চেপে হঠাৎ আঙুল সরিয়ে নিলেও ফর্ক কাঁপে। বাহু লম্বা হলেই এইভাবে কাঁপান সুবিধার হয়। ফর্ক কঠিন বস্তুতে ঠুকলে হাতল ভাঙার সম্ভাবনা ছাড়া ফর্ক থেকে তার স্বাভাবিক কম্পাংক বার না হয়ে কয়েক গুণ বেশী তীক্ষ্ণ একটি ধাতব আওয়াজ বার হয়।

5-1.2. স্বনমিটার (Sonometer)। স্বনমিটারও শব্দ সংক্রান্ত পরীক্ষণে একটি প্রয়োজনীয় যন্ত্র। এর গঠন 5.3 চিত্রে দেখান হয়েছে। চিত্রের A কাঠের একটি ফাঁপা বাক্স। একগাছা ইস্পাতের তার বাক্সের এক প্রান্তে ছোট একটি খোঁটায় (Peg-এ) বাঁধা। বাক্সের অন্য প্রান্তে লাগান একটি পুলির ওপর দিয়ে তারগাছা ভার ঝোলাবার একটি লম্বা আংটার সঙ্গে আটকান থাকে। বাক্সের ওপরে তারগাছা এর আড়াআড়ি রাখা দু টুকরা সরু মাথা, লম্বা শক্ত প্ল্যাস্টিকের (বা অন্য পদার্থের) ওপর দিয়ে যায়। এই টুকরো দুটিকে 'ব্রিজ' (Bridge) বলে। তারের নিচে এদের ইচ্ছামত সরান যায়। (5.3 চিত্রে B_1, B_2 ব্রিজ দুটি বোঝায়।)



5.3 চিত্র (স্বনমিটার)

ব্রিজ দুটি দিয়ে সীমাবদ্ধ তারের অংশ মাঝখানে আড়াআড়ি একটু টেনে ছেড়ে দিলে ঐ অংশ কাঁপতে থাকে এবং নির্দিষ্ট কম্পাংকের স্বর শুনতে পাওয়া যায়। তারে ঝোলান ভারের মান বা দুই ব্রিজের মাঝখানে তারের দৈর্ঘ্য বদলিয়ে এই কম্পাংকের মান বদলান যায়। কম্পাংক ও এই সকল রাশির সম্পর্ক

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad (5\text{-}1.1)$$

এখানে n=কম্পাংক, l= দুই ব্রিজের মধ্যে কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য, T তারে টান, m=এক সেন্টিমিটার লম্বা তারের ভর। তারে যদি মোট W গ্র্যাম ভর ঝোলান থাকে তবে $T=W$-এর ওজন$=Wg$ (g = অভিকর্ষীয় ত্বরণ = 980 cm/s^2)।

স্বনমিটার তারের সুর বাঁধা (Tuning a Sonometer wire)। স্বন-মিটারের তারের কম্পাংক একটা নির্দিষ্ট মানে আনতে তারের কম্পমান দৈর্ঘ্য ও টান দুইই বদলান চলে। পরীক্ষণে সাধারণত তারের কম্পাংক কোন ফর্কের কম্পাংকের সমান করতে হয়। কম্পমান ফর্কের হাতল স্বনমিটারের ওপরের ডালায় চেপে পালা করে ফর্কের শব্দ ও কাঁপান তারের শব্দ শুনতে হয়। যখন এদের

তীক্ষ্ণতা (Pitch) প্রায় একই মনে হয়, তখন দুই কম্পাংক সঠিক মিলাবার চেষ্টা করা হয়। এ করবার দুটি উপায় আছে।

(১) **কাগজের 'রাইডার' (rider) ব্যবহার করে।** খুব ছোট এক টুকরো কাগজ ∧ আকারে ভাঁজ করে দুই ব্রিজের মাঝখানে তারের ওপর রাখ। ফর্ক কাঁপিয়ে এর হাতল স্বনমিটারের ফাঁপা বাক্সের ওপরে চেপে ধর। একটা ব্রিজ দরকার মত আগিয়ে বা পিছিয়ে (তার ছোটবড় করে) দেখ কোন্ সময় তার কাঁপতে থাকে। তারের কম্পনের বিস্তার বেশী হলে কাগজের টুকরা ছিটকিয়ে পড়বে।

(এভাবে পরবশ কম্পন ও অনুনাদের উদাহরণ পাওয়া যায়। কম্পমান ফর্কের হাতল ওঠানামা করতে থাকলে ফর্ক স্বনমিটার বাক্সের তক্তায় পরবশ কম্পন ঘটায়। এই কম্পন ব্রিজের মাধ্যমে তারে সঞ্চালিত হয়। তারের কম্পন প্রথমে পরবশ; পরবশ কম্পনের বিস্তার খুব কম। তারের দৈর্ঘ্য বদলিয়ে এর স্বাভাবিক কম্পাংক ফর্কের কম্পাংকের কাছে আনতে থাকলে কম্পনের বিস্তার একটু করে বাড়তে থাকবে। দুই কম্পাংক সমান হলে অনুনাদ ঘটবে এবং তারের কম্পনের বিস্তার অনেক বেশী হবে। তখন কাগজ পড়ে যায়।)

(২) **স্বরকম্প গুণে (By counting 'beats')।** কাছাকাছি কম্পাংকের দুটি শব্দ একসঙ্গে করা হলে 'স্বরকম্প' (শব্দের প্রাবল্যের হ্রাসবৃদ্ধি) শোনা যায়। সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা দুই কম্পাংকের প্রভেদের সমান। সেকেণ্ডে 5-6টি স্বরকম্প বেশ স্পষ্ট বোঝা যায়। তারের দৈর্ঘ্য কমিয়ে বাড়িয়ে ফর্কের সঙ্গে এর স্বরকম্প পাওয়া গেলে একটু একটু করে দৈর্ঘ্য বদলিয়ে স্বরকম্পের সংখ্যা শূন্যে পরিণত করলে বোঝা যাবে দুটির কম্পাক একই।

5-2. পরীক্ষণ 20 (Experiment 20)

স্বনমিটারের সাহায্যে টিউনিং ফর্কের কম্পাংক নির্ণয় করা
(জানা কম্পাংকের কয়েকটি ফর্ক ব্যবহার করে)
(To determine the frequency of a tuning fork using a sonometer and others forks of known frequency)

তত্ত্ব (Theory)। $n_1, n_2, n_3,\cdots\cdots$ইত্যাদি জানা কম্পাংকের কয়েকটি ফর্ক থাকলে এদের সঙ্গে একই টানের সমসুর তারের দৈর্ঘ্য $l_1, l_2, l_3,\cdots\cdots$ ইত্যাদি মেপে $n-l$ বা $n-1/l$ গ্রাফের সাহায্যে অজানা কম্পাংক বার করা যায়, কারণ $n\times l=$ স্থির রাশি।

যন্ত্রাদি (Apparatus)। বিভিন্ন কম্পংকের অন্ততঃ পাঁচটি টিউনিং ফর্ক; পরীক্ষণীয় ফর্ক; স্বনমিটার; $\frac{1}{2}$kg করে দশটি বাটখারা (মোট 5kg); মোটা রবারের খণ্ড।

[জানা কম্পংকগুলি 256, 320, 384, 426, 512 হতে পারে। এরকম সেট (set) কিনতে পাওয়া যায়।]

[স্বনমিটারের বর্ণনা 5-1.2 বিভাগে দেয়া হয়েছে।]

[পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)

(১) স্বনমিটারের ব্রিজ দুটি পরস্পর থেকে প্রায় 80 cm দূরে রাখ।

(২) সবচেয়ে কম কম্পাংকের ফর্কটি নিয়ে তারে ঝোলান ভার ক্রমশ বাড়িয়ে দেখ কত ভার দিলে দুই ব্রিজের মধ্যে তারের যে অংশ তার কম্পাংক ফর্কের কম্পাংকের সবচেয়ে কাছে হয়।

(৩) একটা ব্রিজ সরিয়ে কাগজের রাইডারের সাহায্যে অথবা স্বরকম্প গুনে (5-1.2 বিভাগ দেখ) তারের কম্পাংক ফর্কের কম্পাংকের ঠিক সমান কর।

(৪) ফর্কের কম্পাংক n [একক cps (cycles per second) বা Hz (hertz)) এবং এর সমসুর তারের দৈর্ঘ্য l (cm) লিখে রাখ।

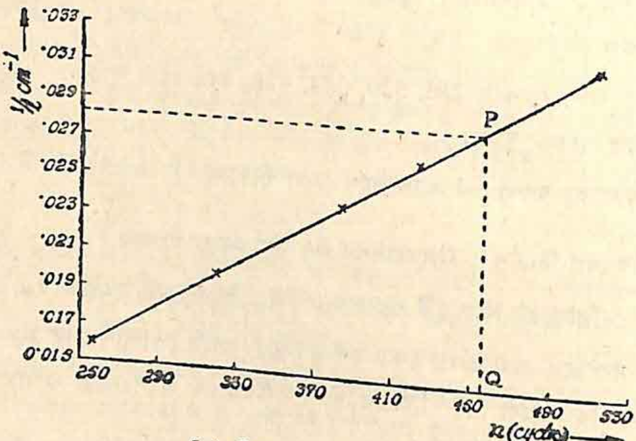
(৫) তারের টান T (অর্থাৎ তারে ঝোলান ওজন) আগাগোড়া একই রেখে একটা একটা করে বিভিন্ন ফর্কের সমসুর তারের দৈর্ঘ্য একইভাবে বার কর, এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে n ও l লিখে রাখ।]

নিরীক্ষা (Observations) ও হিসাব (Calculations)।

n (cps বা Hz)				অজানা
l cm	(i)··· (ii)···			
গড় l cm	···			
$1/l$				

($1/l$ দশমিকে তিনটি সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত নাও।)

n-কে ভুজ (x-axis) ও $1/l$-কে কোটি (y-axis) ধরে একটা গ্রাফ আঁক। এই গ্রাফ সরলরেখা হবে (5.4 চিত্র)



5.4 চিত্র ($n-1/l$ গ্রাফ)

অজানা কম্পাংকের ফর্কের $1/l$ কত দেখ। গ্রাফের যে (P) বিন্দুর কোটির এই মান, তার ভুজ Q কত দেখ। এই Q বিন্দুর কম্পাংকই অজানা কম্পাংক।

ফল (Result)। গ্রাফ থেকে দেখা গেল নির্ণেয় অজানা কম্পাংক$=\cdots$cps

বিকল্প হিসাব (Alternative method of Calculations)।

তত্ত্ব (Theory)। তারের টান T স্থির থাকলে $n\times l$ গুণফল সব n-এ সমান হবে। অতএব, T স্থির রেখে বিভিন্ন n-এ l বার করে এদের গুণফলের গড় মান নিয়ে তাকে অজানা কম্পাংকের ফর্কের সমসুর তারের দৈর্ঘ্য দিয়ে ভাগ করলে অজানা কম্পাংক পাওয়া যাবে।

নিরীক্ষা ও হিসাব। (এক্ষেত্রে সারণি নিচের মত সাজান যায় :)

n (cps)					অজানা
l (cm)	(i)… (ii)…				
গড় l cm					
$n\times l$					

$n\times l$ গুণফলের গড় মান$=\cdots$(cps$\times$cm)

নির্ণেয় কম্পাংকে l $=\cdots$(cm)

ফল। অতএব নির্ণেয় কম্পাংক $n=\cdots$cps.

[এই উপায়ের সুবিধা এই যে গ্রাফ টানতে হয় না। ফল তিনটি সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত রাখতেও অসুবিধা হয় না। বড় গ্রাফ কাগজ না হলে গ্রাফে তিনটি সার্থক সংখ্যা রাখা অসুবিধা হতে পারে।]

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)

(১) স্বনমিটারের ব্রিজ দুটি প্রায় 80 cm দূরে রেখে তারের টান ক্রমশ বাড়িয়ে দেখলাম কি টান থাকলে তারের কম্পাংক সবচেয়ে কম কম্পাংকের ফর্কের কম্পাংকের কাছাকাছি আসে।

(২) এই টান স্থির রেখে একটা ব্রিজ একটু একটু করে সরিয়ে রাইডারের সাহায্যে (বা স্বরকম্প শুনে) তার ও ফর্ক সমসুর করা হল।

(খ) টান না বদলিয়ে অন্যান্য ফর্ক একটা একটা করে নিয়ে প্রত্যেকটির জন্য সমসুর দৈর্ঘ্য l মাপা হল।

সতর্কতা। ফর্ক কাঁপাতে এর এক বাহু সব সময় রবারের টুকরায় ঠোকা হয়েছে।

[গ্রাফ আঁকবার নির্দেশ। ধর n ও l-গুলি নিচের মত পেলে ও $1/l$ হিসাব করলে।

n	256	320	384	426	512
l	62·8	50·2	41·8	37·7	31·4
$1/l$	0·0159	0·0199	0·0239	0·0265	0·0318

তোমার যে-গ্রাফ কাগজ তার এক অক্ষে ধর 60 ছোট ঘর ও অন্য অক্ষে 70 ছোট ঘর আছে। n-এর সীমা 256 থেকে 512, অর্থাৎ এর জন্য গ্রাফে $512-256=256$ বোঝাতে হবে। $1/l$-এর সীমা 0·0318 থেকে 0·0159 ; এর জন্য গ্রাফে $0{\cdot}0318-0{\cdot}0159=0{\cdot}0159$ বোঝান চাই। সেদিকে 70 ছোট ঘর আছে সেদিকে তুমি n নিতে পার। এক ছোট ঘরে n-এর চার বোঝাবে। এতে ঐ অক্ষে 280 পর্যন্ত দেখান চলবে। মূল বিন্দুকে $n=250$ ধরলে। ঐ অক্ষে মোট $250+280=530$ পর্যন্ত দেখান চলবে। অন্য অক্ষে 60 ঘরে 0·0159 বোঝাতে হবে। যদি এক ছোট ঘর$=0{\cdot}0003$ ধর তাহলে 60 ঘরে 0·0180 বোঝান যাবে। মূল বিন্দুকে $1/l=0{\cdot}0150$ ধরতে পার। এতে ঐ অক্ষে $0{\cdot}0150+0{\cdot}0180=0{\cdot}0330$ পর্যন্ত দেখান যায়। আমাদের দরকার 0·0318 পর্যন্ত দেখান। এইভাবে গ্রাফ আঁকা যায়।

এতে কাগজের অধিকাংশই ব্যবহৃত হবে, কিন্তু কোন অক্ষে বিশেষ অসুবিধার একক হবে না।]

মন্তব্য। n-l গ্রাফ এঁকে কেউ কেউ তা থেকে অজানা n বার করতে বলেন। n-l গ্রাফ সরলরেখা নয়; সমকোণীয় পরাবৃত্ত (Rectangular hyperbola)। এই বক্ররেখা আঁকায় ত্রুটি বেশী থাকবে বলে n-l গ্রাফ ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয় নয়। গ্রাফের সাহায্যে ফল বার করতে সম্ভব হলে সকল সময় সরলরৈখিক গ্রাফ ব্যবহার করাই উচিত। এতে ফলে ত্রুটি কম হয়।

মৌখিক প্রশ্ন। (১) টিউনিং ফর্কের ক্রিয়া বর্ণনা কর। (২) এ কি করে স্বনমিটারের তার কাঁপায়? কম্পমান তারের কম্পাংক কি কি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে? (৪) কম্পমান ফর্ক হাতে ধরে থাকলে যে শব্দ শোনা যায় তার তুলনায় ফর্কের হাতল কাঠের ওপর চাপলে শব্দ বেশী জোরাল হয় কেন? কাঠে চেপে ধরলে শব্দ তাড়াতাড়ি মিলিয়ে যায় কেন? (৫) তারের টান বেশী করলে সমসুর তারের দৈর্ঘ্য বাড়ত কি কমত?

উত্তর। (১) 5-1.1 বিভাগ দেখ। ফর্কের হাতলের ওঠানামায় স্বনমিটারের ওপরের কাঠখানা কাঁপে। এই কম্পন ব্রিজের মাধ্যমে তারে গিয়ে তার কাঁপায়। (৩) 5-2.1 বিভাগ দেখ। (৪) ফর্ক নিজের সামান্য পরিমাণ বায়ু কাঁপাতে পারে কিন্তু এর ক্রিয়ায় কাঠ যখন কাঁপে তখন অনেকখানি বায়ুও কাঁপে। এতে শব্দ জোরাল হয়। শব্দ বেশী জোরাল করতে গিয়ে ফর্কের শক্তি তাড়াতাড়ি নিঃশেষ হয়। (৫) 5-1.1 সমীকরণ থেকে দেখা যায় একই তারে n স্থির রাখতে হলে T বাড়ালে l-ও বাড়াতে হবে।

5-2.1. পরীক্ষণ 21 (Experiment 21)

অন্য ফর্ক না থাকলে স্বনমিটারের সাহায্যে ফর্কের কম্পাংক নির্ণয়

(To determine the frequency of a fork with a sonometer)

তত্ত্ব (Theory)। T dyn টানে m g/cm রৈখিক ভর-ঘনত্বের (linear density-র) l cm দৈর্ঘ্যের তারের কম্পাংক যদি n cps (বা Hz) হয়, তবে এই রাশিগুলির মধ্যে সম্পর্ক $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$।

অজানা কম্পাঙ্কের ফর্কের সঙ্গে l দৈর্ঘ্যের তার সমসুর হলে ফর্কের কম্পাংকও n। l, T ও m মেপে n জানা যায়।

যন্ত্রাদি (Apparatus)। স্বনমিটার; একপ্রস্ত (set) $\frac{1}{2}$kg ভর; পরীক্ষণীয় ফর্ক; সুক্ষ্ম তুলা ও তার বাটখারা; রবারের টুকরা।

(স্বনমিটারের বর্ণনা ও ক্রিয়া 5-1.2 বিভাগে দেয়া হয়েছে।)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) :

(১) স্বনমিটারে প্রথমে 2 kg. wt টান প্রয়োগ কর।

(২) ব্রিজ সরিয়ে তারের দৈর্ঘ্য l-এর কম্পাংক যতটা সম্ভব ফর্কের কম্পাংকের কাছাকাছি নাও। পরে দুই কম্পাংক রাইডার বা স্বরকম্পের সাহায্যে সমান কর। (l 25 cm-এর কম হলে টান বাড়িয়ে আবার তারের কম্পাংক আগের মত কর।)

(৩) কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য l cm ও তারে মোট ভার W g-wt কত তা দেখে লিখে রাখ। W হিসাব করতে ভারগুলি যে পাত্রে বা আধারে রাখা হয়েছে তার ওজন ধরবে।

(৪) ব্রিজ একটু সরিয়ে আবার তার সমসুর কর। এইভাবে মোট তিনবার l-এর মান দেখ। W স্থির রেখো।

(৫) ল্যাবরেটরি থেকে একই তারের খানিকটা চেয়ে নাও। এর দৈর্ঘ্য L cm মাপ। সূক্ষ্ম তুলার সাহায্যে এই তারের ভর M অন্তত তিনটে সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত বার কর।]

নিরীক্ষা (Observations)।

আংটার ভর $(w') = \cdots$ g

নমুনা তারের দৈর্ঘ্য cm.	নমুনা তারের গড় দৈর্ঘ (L) cm.	নমুনা তারের ভর (M)	$m=\frac{M}{L}$ g/cm.	তারে টান $T=W^* \times g = W \times 980$ dyn	সমসুর দৈর্ঘ্য cm.	গড় সমসুর দৈর্ঘ্য (l) cm.
(i)···	···	$(\cdots+\cdots+\cdots)$g+ $(\cdots+\cdots+\cdots)$mg $=\cdots$g	···	1. ···	··· ··· ···	···
(ii)···				2. ···	··· ··· ···	···
(iii)···				3. ···	··· ··· ···	···

* $W=(w+w')$; w=তারে ঝোলান ভার।

হিসাব (Calculations)।

$\therefore$ (1) $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\cdots$cps ইত্যাদি।

ফল (Result)। নির্ণেয় গড় কম্পাংক $=\cdots$cps

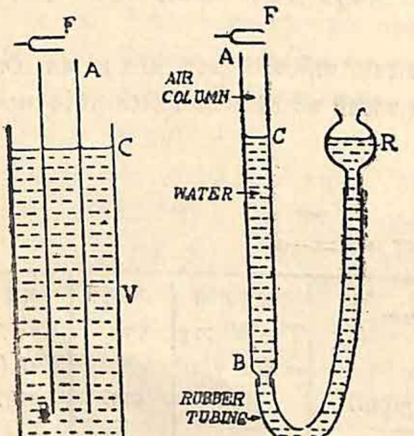
কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ পরীক্ষণের নির্দেশ একটু অদলবদল করে লেখ।

সতর্কতা (Precautions)। পরীক্ষণ 20 দেখ।

মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর। 20 পরীক্ষণের মত।

5-3. অনুনাদী নল (Resonance tube)

অনুনাদী নল (Resonance tube) বলতে এখানে প্রায় 5 cm ব্যাসের একটি কাচের নল বোঝায়। নলের একদিক জলে বন্ধ থাকে। নল উঠিয়ে নামিয়ে বা জলপাত্র উঠিয়ে নামিয়ে জলের ওপরে নলের দৈর্ঘ্য কমান বাড়ান যায়। নল ওঠান-নামান হবে কি জলপাত্র ওঠান-নামান হবে বুঝে যান্ত্রিক ব্যবস্থা দুরকমের হতে পারে। তা ছাড়া, জলের ওপরে নলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য যথেষ্ট বাড়ান গেলে সূক্ষ্মতর মাপন সম্ভব হয়, কারণ তখন পরীক্ষণের বিশেষ একটি ত্রুটি দূর করা যায়।

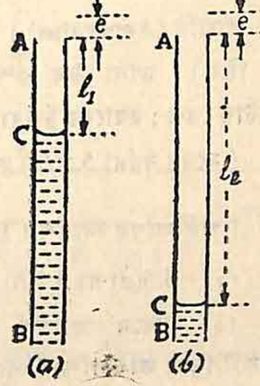


5.5 (দুরকমের অনুনাদী নল)

যান্ত্রিক ব্যবস্থার আবশ্যিক অংশ 5.5 (*a*) ও 5.5 (*b*) চিত্রে দেখান হয়েছে। 5.5 (*a*) চিত্রের AB কাচের নল ; V গভীর জলপাত্র এবং F জানা কম্পাঙ্কের টিউনিং ফর্ক। AB উঁচুনিচু করে জলের ওপরের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়ান কমান যায়। বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য মিটার স্কেলের সাহায্যে মাপা হয়।

5.5 (*b*) চিত্রে দ্বিতীয় ব্যবস্থা দেখান হয়েছে। AB প্রায় মিটার খানেক লম্বা, বড় ব্যাসের কাচের নল। এর B মুখ সরু। রবারের একটি নল দিয়ে R জলপাত্রের সঙ্গে B যোগ করা। R ইচ্ছামত ওঠান-নামান যায় ও যে কোন জায়গায় স্থির রাখা যায়। AB নলের পাশেই মিটার স্কেল লাগান থাকে। স্কেলের শূন্য দাগ নলের মাথা A-র সঙ্গে মিলিয়ে রাখা হয়। এতে নলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য সহজেই জানা যায়। স্থির জলের ধর্ম অনুসারে R পাত্রে জলতল (water level) এবং AB নলে জলতল (C) একই অনুভূমিক তলে থাকে। R ওঠালে C ওঠে ; R নামলে C নামে।

5-3.1 অনুনাদী নলের ক্রিয়া। নলের ওপরের মুখে কম্পমান ফর্ক ধরলে শব্দতরঙ্গ নলের অন্য প্রান্তের জলে প্রতিফলিত হয়। এতে নলের বায়ুস্তম্ভে বিপরীত দিক থেকে দুটি একই রকম শব্দতরঙ্গ উপরিপাতিত হয়ে স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি করে (5-1 গ বিভাগ দেখ)। জলতল C-তে বায়ুকণা কাঁপতে পারে না বলে C-তে সব সময়ই নিস্পন্দ বিন্দু থাকবে। নলের খোলামুখ A-তে বায়ুকণার কম্পনে কোন বাধা নাই বলে A-তে সুস্পন্দ বিন্দু হতে হবে। বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ($AC=l_1$) শব্দতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ ($\lambda/4$) হলে নিস্পন্দ-সুস্পন্দ বিন্দু এইভাবে গঠিত হতে পারবে। AB উঠিয়ে নামিয়ে AC অংশের দৈর্ঘ্য $l_1=\lambda/4$ করতে পারলে তখন নল থেকে জোরাল শব্দ পাওয়া যায়। এই অবস্থায় বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পনের কম্পাংকের সঙ্গে ফর্কের কম্পাংক সমান হওয়ায় অনুনাদ ঘটে। এই কারণে নলকে অনুনাদী নল বলে।



5.6 (প্রান্তীয় শুদ্ধি এবং প্রথম ও দ্বিতীয় অনুনাদ)

5.5 (*b*) চিত্রের ব্যবস্থায় বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ক্রমশ বাড়িয়ে গেলে প্রথমে যখন $l_1=\lambda/4$ হয় তখন অনুনাদ ঘটে। বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য প্রায় l_1-এর তিনগুণ হলে আর একবার অনুনাদ ঘটে, কারণ ঐ দৈর্ঘ্যের বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পনের একটি ধরন (mode) প্রথম বারের কম্পাংকের সমান।

5-3.2. প্রান্তীয় শুদ্ধি (**End correction**)। AC বায়ুস্তম্ভের কম্পনে সুস্পন্দ বিন্দু ঠিক A-তে গঠিত না হয়ে আর একটু বাইরের দিকে হয়। গণনায় এর মান পাওয়া যায় $e=0{\cdot}3\ d$। d হল নলের ভিতরের দিকের ব্যাস এবং e হল A প্রান্ত ও সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব (5.6 চিত্র)। 5.6 (*a*) চিত্রে $\lambda/4=l_1+e$ এবং 5.6 (*b*) চিত্রে $3\lambda/4=l_2+e$।

5-4. পরীক্ষণ 22 (Experiment 22)

অনুনাদী নলের সাহায্যে বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করা
(To determine the velocity of sound in air with a resonance tube)

তত্ত্ব (**Theory**)। অনুনাদী নলে বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য l_1-এ যদি প্রথম অনুনাদ পাওয়া যায় (5.6*a* চিত্র) তাহলে $l_1+e=\lambda/4$ হয়। এখানে λ শব্দতরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও e নলের প্রান্তীয় শুদ্ধি : গণনায় পাওয়া যায় $e=0.3d$ (d = নলের

ভিতরের ব্যাস)। অনুনাদী ফর্কের কম্পাংক n হলে নলের বায়ুতে শব্দের বেগ $v=n\lambda$। সুতরাং $V=4n(l_1+e)$

প্রান্তীয় শুদ্ধি গণনায় না এনে তা অপনীত করা যায়। অনুনাদী নল যথেষ্ট লম্বা হলে l_1-এর প্রায় তিনগুণ দৈর্ঘ্যে আবার অনুনাদ পাওয়া যায়। এই দৈর্ঘ্য l_2 হলে $l_2+e=3\lambda/4$। অতএব,

$$(l_2+e)-(l_1+e)=3\lambda/4-\lambda/4$$

$$\text{বা}\quad l_2-l_1=\lambda/2$$

$$\text{এবং}\quad v=n\lambda=2n(l_2-l_1)$$

যন্ত্রাদি (Apparatus)। অনুনাদী নল ও এর আনুষঙ্গিক ব্যবস্থা (5.5 *a*, *b* চিত্র); জানা উচ্চ কম্পাংকের (ধর, 480 ও 512) দুটি টিউনিং ফর্ক ; জল ; মিটার স্কেল ; রবারের টুকরা ; থার্মমিটার।

(যন্ত্রের বর্ণনা 5.5 (*a*) ও (*b*) চিত্রে দেয়া হয়েছে।)

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)** ঃ

(১) 5.5(*a*) বা 5.5(*b*) চিত্রে বর্ণিত যে যন্ত্র পাওয়া গিয়েছে তা সাজাও।

(২) প্রথমে জলতল নলের ওপরের প্রান্তের কাছে রাখ। প্রদত্ত ফর্কের একটি নিয়ে তা কাঁপিয়ে নল ক্রমশ আস্তে আস্তে ওপরে তোল (বা জলপাত্র ক্রমশ নিচে নামাও)। এতে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ক্রমশ বাড়বে। ফর্কের শব্দ ক্ষীণ হলেই আবার ফর্ক কাঁপিয়ে নেবে।

(৩) বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য এইভাবে ক্রমশ বাড়িয়ে দেখ স্তম্ভ থেকে নিঃসৃত শব্দ কখন জোরাল হয়। এই অবস্থানে দৈর্ঘ্য সামান্য একটু বাড়িয়ে কমিয়ে দেখ শব্দ কোথায় সবচেয়ে জোরাল হয়। এই হচ্ছে অনুনাদী দৈর্ঘ্য (l_1)। এ মাপ।

(৪) বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l_1-এর প্রায় তিনগুণ করে দ্বিতীয় অনুনাদের দৈর্ঘ্য l_2 একইভাবে বার কর ও মাপ।

(৫) ব্যবহৃত ফর্কের কম্পাংক লিখে রাখ।

(৬) দ্বিতীয় ফর্ক নিয়ে তার অনুনাদী দৈর্ঘ্য একইভাবে দেখ।

(৭) ঘরের উষ্ণতা (বা ব্যবহৃত জলের উষ্ণতা) কত লিখে রাখ।

(৮) প্রত্যেক ফর্কে তিনবার করে l_1, l_2-এর মান স্বতন্ত্রভাবে বার করো। দুটি ফর্ক না পেলে একটিতেই বার কয়েক l_1, l_2 বার করো।

নিরীক্ষা ও হিসাব (Observations and calculations)।

ঘরের উষ্ণতা$=\cdots$°C (t°c)

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	টিউনিং ফর্কের কম্পাংক n (cps or Hz)	প্রথম অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_1 cm.	গড় l_1 cm.	দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_2 cm.	গড় l_2 cm.	শব্দের বেগ $V=2n(l_2-l_1)$ cm/s
1.	…	(i)… (ii)… (iii)…	…	(i)… (ii)… (iii)…	…	…
2. ⋮ ইত্যাদি						

ফল। …°C-তে নলের আর্দ্রবায়ুতে শব্দের বেগ$=\cdots$ cm/s (ফলে তিনটির বেশী সার্থক সংখ্যা নাই। অতএব ফল m/s এককে প্রকাশ করা ভাল)।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)

(১) অনুনাদী নলে জলতল (water level) নলের ওপরের প্রান্তের কাছাকাছি রেখে ফর্ক কাঁপিয়ে নলের মুখে ধরে নলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য আস্তে আস্তে বাড়ান হতে লাগল। ফর্ক থামলেই তখন নলের দৈর্ঘ্য না বাড়িয়ে ফর্ক আবার কাঁপিয়ে নেয়া হত।

(২) এইভাবে কাঁপান ফর্কের নিচে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়িয়ে প্রথম অনুনাদের অবস্থান স্থূলভাবে পেয়ে পরে তা যথাসম্ভব সূক্ষ্মভাবে বার করা হল।

(৩) দৈর্ঘ্য প্রায় তিনগুণ বড়িয়ে দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_2 একইভাবে যথাসম্ভব সূক্ষ্মতায় বার করা হল।

(৪) l_1 ও l_2 স্বতন্ত্রভাবে আবার বার করা হল এবং ব্যবহৃত কম্পাংক লিখে রাখা হল।

(৫) দ্বিতীয় ফর্ক নিয়ে (১) থেকে (৪) প্রক্রিয়াগুলি তাতেও করা হল।

(৬) ঘরের (নলের জলের) উষ্ণতা দেখে লেখা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ (১) প্রথম অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করার জন্য বায়ু স্তম্ভের দৈর্ঘ্য খুব কম থেকে বাড়ান উচিত।

(২) টিউনিং ফর্কের কম্পাংক বেশী নিতে হবে। নাহলে দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যাবে না।

[মন্তব্য। শীতে গ্রীষ্মে কিছু প্রভেদ হলেও আমাদের দেশে শুকনো বায়ুতে শব্দের বেগের গড় মান 30°C-র কাছাকাছি উষ্ণতায় প্রায় 350 m/s হয়। আর্দ্র বায়ুতে আর একটু বাড়ে। আর্দ্রতার পরিমাণ (বায়ুতে জলীয় বাষ্পের চাপ) ও উষ্ণতা জানা থাকলে এদের জন্য শুদ্ধি করে 0°C-তে শুকনো বায়ুতে শব্দের বেগ কত হবে তা হিসাব করে জানা ফলের (331.5 m/s) সঙ্গে তুলনা করা যায়।

অনুনাদী নলে শব্দের বেগ 350 m/s-এর কাছাকাছি হবে। ফর্কের কম্পাংক 256 হলে l_1-এর মান হয় প্রায় $350/(4\times256)$ m বা 34-35 cm। এতে মিটার নলে দ্বিতীয় অনুনাদ পাওয়া যাবে না। $n=512$ হলে প্রায় 17 cm-এ প্রথম অনুনাদ পাওয়া যাবে। কম্পাংক বেশী হলে দ্বিতীয় অনুনাদ পাওয়ার সম্ভাবনা। কিন্তু বেশী কম্পাংকের ফর্কের বাহু ছোট হয়, এবং ঘন ঘন কাঁপিয়ে নিতে হয়, কারণ তা অল্পক্ষণেই থেমে যায়। কম কম্পাংকের ফর্কের বাহু লম্বা এবং কম্পন অনেকটা দীর্ঘস্থায়ী। দ্বিতীয় অনুনাদের শব্দ কম জোরাল হয়।]

মৌখিক প্রশ্ন। (১) অনুনাদী নল কোনটি? একে অনুনাদী নল বলা হয় কেন?

(২) অনুনাদ কাকে বলে? এখানে কার সঙ্গে কার অনুনাদ ঘটে?

(৩) স্থিরতরঙ্গ, নিস্পন্দ বিন্দু, সুস্পন্দ বিন্দু, কাদের বলে?

(৪) নলে নিস্পন্দ বিন্দু বা সুস্পন্দ বিন্দু কোথার কোথায় আছে?

(৫) নলে স্থিরতরঙ্গ কিভাবে সৃষ্টি হয়?

(৬) ফল লিখতে বায়ু আর্দ্র এবং উষ্ণতা লেখ কেন?

(৭) ফর্কের কম্পাংক বেশী বা কম হলে কাজে সুবিধা-অসুবিধা কি হয়?

উত্তর। (১) বড় ব্যাসের কাচের নলটি। এর বায়ুস্তম্ভের সঙ্গে ফর্কের অনুনাদ ঘটে বলে।

(২) 5-1 (খ) বিভাগ দেখ।

(৩) 5-1 (গ) অংশ দেখ।

(৪) ও (৫) 5-3.1 বিভাগ দেখ।

(৬) উষ্ণতা বাড়লে বা আর্দ্রতা বাড়লে বায়ুতে শব্দের বেগ বাড়ে। ('মন্তব্যে'র প্রথম প্যারা দেখ।)

(৭) মন্তব্যে'র দ্বিতীয় প্যারা দেখ।

5-5. পরীক্ষণ 23 (Experiment 23)

বায়ুতে শব্দের বেগ দেয়া থাকলে টিউনিং ফর্কের কম্পাংক নির্ণয় করা। (To determine the frequency of a tuning fork by its resonance with air column, velocity of sound being supplied.)

তত্ত্ব (Theory)। পরীক্ষণ ২২-এর শুধু শেষে লেখ

$$n=\frac{V}{2(l_2-l_1)}$$

যন্ত্রাদি (Apparatus)। পরীক্ষণ 22-এর মত।

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiments) ঃ** পরীক্ষণ ২২-এর নির্দেশ থেকে (৫), (৬) ও (৮) বাদ দাও]

নিরীক্ষা ও হিসাব (Observations and Calculations)

ঘরের উষ্ণতায়···°C-এ বায়ুতে শব্দের বেগ=···cm/s. (দেয়া আছে)

প্রথম অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_1 cm	গড় l_1 cm	দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_2 cm	গড় l_2 cm	টিউনিং ফর্কের কম্পাংক $n=\frac{V}{2(l_2-l_1)}$ Hz
(i)...		(i)...		
(ii)...	...	(ii)...	...	...
(iii)...		(iii)...		

ফল (Result) ঃ দেয়া টিউনিং ফর্কের কম্পাংক=···Hz.

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ (১) থেকে (৩) পরীক্ষণ 22-এর মত।

(৪) l_1 ও l_2 স্বতন্ত্রভাবে আরও তিনবার বার করা হল।

(৫) ঘরের উষ্ণতা দেখা হল।

সতর্কতা (Precautions) ঃ পরীক্ষণ 22-এর মত।

মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তরের জন্য পরীক্ষণ 22 দেখ।

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

চুম্বকত্ব (MAGNETISM)

6-1.1. চুম্বকত্ব সংক্রান্ত পরীক্ষণ সম্বন্ধে কয়েকটি গোড়ার কথা। চুম্বকত্ব সংক্রান্ত কয়েকটি কথার অর্থ আমাদের মনে রাখা দরকার।

(ক) মেরু (**Pole**)। চুম্বকের দুই প্রান্তের কাছে দুটি বিন্দুতে আকর্ষণী শক্তি কেন্দ্রীভূত আছে বলে মনে করা হয়। এই দুই বিন্দুকে চৌম্বক মেরু বলে। পৃথিবীর উত্তর দিকের প্রান্তের মেরু উত্তর মেরু ও দক্ষিণ দিকের প্রান্তের মেরু দক্ষিণ মেরু।

(খ) চৌম্বক ক্ষেত্র (**Magnetic field**)। যে অঞ্চলে কোন চুম্বক রাখলে তা চৌম্বক বল অনুভব করে সেই অঞ্চলকে চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।

(গ) চৌম্বক ক্ষেত্রপ্রাবল্য বা চৌম্বক তীব্রতা (**Magnetic field strength** বা **Magnetic intensity**)। এক মাত্রা প্রাবল্যের উত্তর চৌম্বক মেরু (unit north pole) চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে রাখলে তা যত ডাইন্ (dyne) বল অনুভব করবে তাকে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্রপ্রাবল্য বা তীব্রতা বলে। এই বলের অভিমুখকেই ক্ষেত্রের দিক্ বা অভিমুখ (direction of the field) বলা হয়।

(ঘ) চৌম্বক বলরেখা (**Magnetic lines of force**)। এর সংজ্ঞা দু'ভাবে দেয়া যায়ঃ (১) চৌম্বক ক্ষেত্রে আঁকা যে রেখার কোন বিন্দুতে টানা স্পর্শক (tangent) ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক্ নির্দেশ করে সে রেখাকে চৌম্বক বলরেখা বলে। (২) চৌম্বক ক্ষেত্রে ভরহীন কোন মুক্ত উত্তর মেরু ছেড়ে দিলে তা যে পথে চলবে তাই চৌম্বক বলরেখা। ভরহীন, মুক্ত উত্তর মেরু কল্পনার বস্তু। ছোট কম্পাস কাঁটা চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে তা স্থানীয় বলরেখার স্পর্শক বরাবর লম্বিত হয়ে থাকবে। এর উত্তর মেরু বলরেখা বরাবর চলতে চায়, এবং দক্ষিণ মেরু তার বিপরীত দিকে চলতে চায়। এই দুই বলের ক্রিয়ায় কম্পাস কাঁটা বলরেখার স্পর্শক বরাবর লম্বিত থাকে। **কম্পাস কাঁটার এই ধর্মই বলরেখা আঁকার ভিত্তি।** চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে কম্পাস কাঁটার উত্তর মেরু যে দিকে মুখ করে থাকে তাই ঐ বিন্দুতে বলরেখার বা ক্ষেত্রের অভিমুখ। **বলরেখা টানলে তীরচিহ্ন দিয়ে সব সময়ই তার অভিমুখ দেখাতে হয়।**

(ঙ) **ভূক্ষেত্রের বলরেখা।** পৃথিবী নিজে একটি বিরাট চুম্বক। এর ভিতরে বাইরে সর্বত্র চৌম্বক ক্ষেত্র আছে। ভূপৃষ্ঠে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ দক্ষিণ

থেকে উত্তরে, কারণ চুম্বকের উত্তর মেরু সর্বদাই উত্তর দিকে মুখ করে থাকে। ভূক্ষেত্রের বলরেখা টানতে তীর চিহ্নগুলি দক্ষিণ থেকে উত্তর অভিমুখী করে দেখাতে হবে। তা মনে রেখো। এক স্থানে আঁকা ভূক্ষেত্রের বলরেখাগুলি সমান্তরাল হয়। সেখানে অন্য চৌম্বক ক্ষেত্র থাকলে বলরেখার সজ্জা অন্য রকম হয়।

(চ) চৌম্বক অক্ষ (**Magnetic axis**)। কোন চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ বলতে এর উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যোগ করে যে রেখা, তাই বোঝায়।

(ছ) চৌম্বক মধ্যতল (**Magnetic meridian**)। ঘুরতে বাধা নাই এমন চুম্বক স্থির অবস্থায় থাকলে এর চৌম্বক অক্ষ যে উল্লম্ব (vertical) তলে থাকে তাই স্থানীয় চৌম্বক মধ্যতল।

6-1.2. বলরেখা আঁকবার কম্পাস (**Plotting compass**)। এই কম্পাসে ছোট একটি চুম্বক কাঁটা খাড়া, ছুঁচাল ডগার ওপরে অনুভূমিক অবস্থায় বসান থাকে। কাঁটাটি থাকে অচৌম্বক আধারে (6·1 চিত্র)। এর ডালা কাচের। পাশও কাচের হলে ভাল হয়। চুম্বকের দু'মাথা ছুঁচাল। দু মাথা যোগকারী রেখাই চুম্বকের অক্ষ। অনুভূমিক তলে ঘুরতে কাঁটা কার্যত কোন বাধা পায় না। চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে কাঁটা স্থানীয় চৌম্বক বলরেখা বরাবর লম্বিত হয়ে থাকবে। উত্তর মেরু সাধারণত চিহ্নিত থাকে।



6·1 চিত্র (চুম্বক কাঁটা)

6-2. পরীক্ষণ 24 (Experiment 24)

দণ্ড-চুম্বকের মেরুর অবস্থান নির্ণয়

(To locate the poles of a given bar magnet)

তত্ত্ব (Theory) ঃ দণ্ড চুম্বকের দুই প্রান্তের কাছাকাছি দুটি বিন্দুতে আকর্ষণী শক্তি কেন্দ্রীভূত বলে মনে করা যায়। এই দুই বিন্দুকে চৌম্বক মেরু (Pole) বলে। দুই মেরুর দূরত্বকে চৌম্বক দৈর্ঘ্য (magnatic length) বলে। মেরু দুইটি একেবারে প্রান্তে অবস্থিত নয় বলে চৌম্বক দৈর্ঘ্য চুম্বকের দৈর্ঘ্যের (length of the magnet) থেকে কম হয়। এই দুই দৈর্ঘ্যের অনুপাত প্রায় ধ্রুবক এবং এর মান 0·85 প্রায়। অর্থাৎ

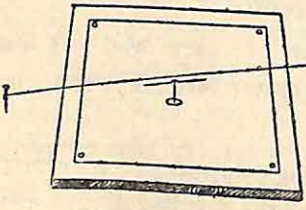
$$\frac{\text{চৌম্বক দৈর্ঘ্য}}{\text{চুম্বকের দৈর্ঘ্য}} = 0{\cdot}85 \text{ প্রায়}$$

যন্ত্রাদি (apparatus) ঃ একটি জোরালো লম্বা দণ্ড-চুম্বক ; একটি ছোট কম্পাস কাঁটা ; লম্বা একটুকরা সূতা ; দুটি লম্বা, শক্ত, পিতলের পিন ; ড্রইং বোর্ড ; চারটি ড্রইং পিন ও কাগজ।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) ।

(১) টেবিল থেকে সমস্ত চৌম্বক পদার্থ সরিয়ে দাও। টেবিলের কাছাকাছিও যেন কোন চৌম্বক পদার্থ না থাকে সেদিকে লক্ষ্য রাখবে।

(২) ড্রইং বোর্ডের ওপর একটি কাগজ এঁটে তার ওপর কম্পাস কাঁটা বসাও। কাঁটাটি যখন বিনা বাধায় ঘুরে স্থির হবে তখন এর ওপর দিকে এবং এর অক্ষের সমান্তরাল করে লম্বা সুতাটি পিতলের লম্বা পিনের সাহায্যে টান টান করে রাখ (চিত্র 6.2)। পিন দুইটি টেবিলের ওপর এমন দূরত্বে বসাবে যাতে বোর্ডটি সুতার তলায় অনায়াসে ঘুরতে পারে। সুতার ওপর থেকে ভাল করে দেখ সুতা ও কাঁটার অক্ষ পরস্পর সমান্তরাল আছে কিনা। সুতাটি যে উলম্বতলে থাকলো, সেই তলই ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল।

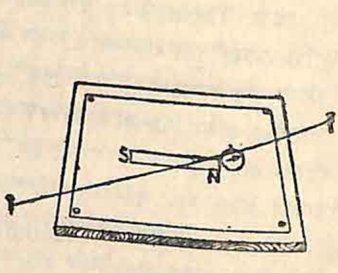


চিত্র 6.2

(৩) কম্পাস কাঁটা সরিয়ে পরীক্ষণীয় দণ্ড-চুম্বককে কাগজের মাঝামাঝি জায়গায় রাখ। সরু পেন্সিল দিয়ে চুম্বকের সীমারেখা আঁক। এবার উত্তর প্রান্তের খুব কাছে কম্পাসটি রাখ। বোর্ডকে আস্তে আস্তে ঘুরিয়ে কম্পাসকাঁটার অক্ষ সুতার তলায় ও সমান্তরালে আন (চিত্র 6.3)।

(৪) কাঁটার দুই প্রান্তে পেন্সিল দিয়ে দুটি বিন্দু(L_1, L_1') বসাও (চিত্র 6·4)। এই বিন্দু দুটি যোগ করলে ঐ স্থানে চৌম্বক মধ্যতলে পরীক্ষণীয় চুম্বকের বলরেখা পাবে।

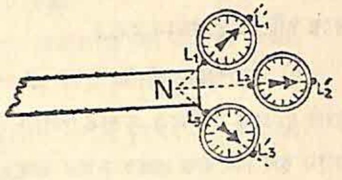
(৫) কম্পাস কাঁটা তুলে ঐ একই প্রান্তের আর এক জায়গায় কাঁটাটি বসাও। বোর্ডকে ঘুরিয়ে কাঁটাকে সুতার তলায় ও চৌম্বক মধ্যতলে আন। কাঁটার দুই প্রান্তে দুটি বিন্দু (L_2,L_2') বসাও। ঠিক একইভাবে ঐ প্রান্তের আরেক জায়গায় (L_3, L_3') বিন্দু দুটি বের কর।



চিত্র 6·3

(৬) এবার কম্পাসকাঁটা অন্য প্রান্তের কাছে রেখে এই প্রান্তের তিনটি বলরেখায় অবস্থিত তিনজোড়া বিন্দু আগের পদ্ধতিতে নির্ণয় কর।

(৭) একই প্রান্তের তিনজোড়া বিন্দু যোগ করে বাড়ালে দণ্ড চুম্বকের ভিতর একটি বিন্দুতে ছেদ করবে। এই ছেদবিন্দুই হবে চুম্বকের এক মেরু। অন্য প্রান্তেও একইভাবে অন্য মেরু বার কর। [বিন্দুগুলি এমনভাবে নেবে যাতে তাদের বিন্যাসে সামঞ্জস্য (symmetry) থাকে। একজোড়া বিন্দু চুম্বক অক্ষের ওপর ও অপর দুইজোড়া চুম্বকের কোণার দিকে নিলে দেখতে ভাল হয়] দণ্ড-চুম্বকের কোন প্রান্তে কি মেরু দেখে নিয়ে বলরেখার অভিমুখে তীরচিহ্ন দাও।



চিত্র 6·4

(৮) স্কেলের সাহায্যে চুম্বকের দৈর্ঘ্য ও চৌম্বক দৈর্ঘ্য তিন বার মাপ এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্য ও চুম্বকের দৈর্ঘ্যের অনুপাত বের কর। অনুপাত মোটামুটি 0·85 হবে।]

নিরীক্ষা ও হিসাব (Observations and Calculations) ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	চুম্বকের দৈর্ঘ্য cm	চুম্বকের গড় দৈর্ঘ্য L cm	চৌম্বক দৈর্ঘ্য cm	গড় চৌম্বক দৈর্ঘ্য l cm	l/L-এর মান
1.	...		...		
2.	...	...	...	...	...
3.	...		...		

ফল (result) ঃ চৌম্বক দৈর্ঘ্য ও চুম্বক দৈর্ঘ্যের অনুপাত = ...

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) টেবিল থেকে সমস্ত চৌম্বক পদার্থ সরিয়ে, ড্রইং বোর্ডের ওপর কাগজ আঁটা হল।

(২) কম্পাস কাঁটা কাগজের মাঝে বসিয়ে লম্বা সুতাটি পিতলের বড় পিন দুটির সাহায্যে কাঁটার ওপর ও অক্ষের সমান্তরাল করে এমনভাবে টান টান করে রাখা হল যাতে বোর্ড সুতার তলায় বাধাহীনভাবে ঘোরান যায়।

(৩) কম্পাস কাঁটা সরিয়ে দণ্ড-চুম্বকটিকে কাগজের মাঝে রেখে পেন্সিল দিয়ে সীমারেখা আঁকা হল। এর একপ্রান্তের খুব কাছে কম্পাস কাঁটা রেখে বোর্ড ঘুরিয়ে কাঁটার অক্ষ সুতার তলায় এর সমান্তরালে আনা হল। কাঁটার দুই প্রান্তে পেন্সিল দিয়ে দুটি বিন্দু বসান হল।

(৪) কম্পাস কাঁটা তুলে ঐ প্রান্তেরই খুব কাছে আর এক জায়গায় বসিয়ে বোর্ড ঘুরিয়ে কাঁটাকে সুতার তলায় সমান্তরালে আনা হল। কাঁটার দুই প্রান্তে বিন্দু বসান হল। ঠিক একই ভাবে আরেকজোড়া বিন্দু ঐ প্রান্তে বার করা হল।

(৫) অন্য প্রান্তের কাছে একইভাবে তিনজোড়া বিন্দু বার করা হল।

(৬) একইপ্রান্তের তিনজোড়া বিন্দু যোগ করে দণ্ড-চুম্বকের দিকে বাড়ান হল! এরা একটি বিন্দুতে মিলিত হল। এই বিন্দুই ঐ প্রান্তের মেরু। একইভাবে অন্য মেরু বার করা হল। বলরেখার অভিমুখে তীর চিহ্ন দেয়া হল।

(৭) স্কেলের সাহায্যে চুম্বকের দৈর্ঘ্য ও চৌম্বক দৈর্ঘ্য তিনবার মাপা হল।

সতর্কতা (Precautions) :

(১) দণ্ড চুম্বকটি লম্বা হওয়া প্রয়োজন। লম্বা হলে এক মেরুর প্রভাব অন্য মেরুতে খুব কম হবে।

(২) চুম্বক মোটা ও ছোট হলে তিনজোড়া রেখা এক বিন্দুতে ছেদ নাও করতে পারে।

(৩) প্রান্তের কাছেই বলরেখা সোজা থাকে। দূরে বেঁকে যায়। তাই কম্পাস কাঁটা প্রান্তের খুব কাছে রাখা উচিত।

মৌখিক প্রশ্ন। (১) চৌম্বক মধ্যতল কাকে বলে? (২) দণ্ড চুম্বক চৌম্বক মধ্যতলে না রেখে কাজ করলে ক্ষতি কি? (৩) ভূচুম্বকত্ব না থাকলে কাজের কি সুবিধে হত? (৪) মেরু কাকে বলে? (৫) মেরু আলাদা করা কি সম্ভব?

উত্তর। (১) 6-1 বিভাগ দেখ। (২) ভূচুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার সজ্জা পালটিয়ে যাবে। দণ্ড-চুম্বকের বলরেখাগুলি চুম্বকের ভিতর এক বিন্দুতে মিলিত হবে না। (৩) বারবার চৌম্বক মধ্যতলে কম্পাস কাঁটাকে আনতে হত না। (৪) 6-1 বিভাগ দেখ। (৫) চুম্বক মেরু আলাদা করা সম্ভব নয়।

6-3.1. পরীক্ষণ 25 (Experiment 25)

উত্তর মেরু উত্তর দিকে রেখে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার মানচিত্র আঁকা ও উদাসীন বিন্দু নির্ণয় করা

(Mapping the lines of force of a bar-magnet, the north pole pointing north and to locate the neutral points)

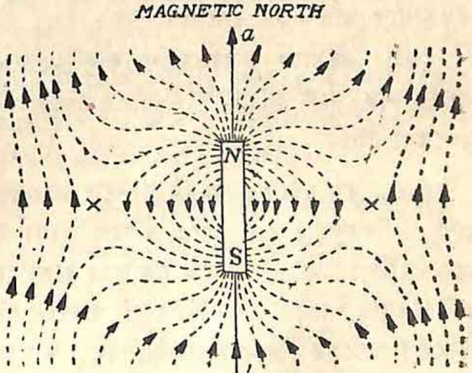
তত্ত্ব (**Theory**) ঃ যে কোন স্থানে অনুভূমিক তলে ভূক্ষেত্রের বলরেখাগুলি সমান্তরাল। কিন্তু সেখানে অন্য চুম্বক রাখলে ভূক্ষেত্র এই চুম্বকের ক্ষেত্রের সঙ্গে যুক্ত হওয়ায় চুম্বকের বলরেখাগুলির সজ্জা অন্য রকম হয়। ছোট কম্পাস কাঁটার সাহায্যে চুম্বকের চারদিকে বলরেখাগুলি টেনে নূতন সজ্জা কি রকম তা দেখা যায়। এই রকম মিলিত বলক্ষেত্রের দুটি স্থানে চুম্বকের ও পৃথিবীর বলক্ষেত্র সমান ও বিপরীত-মুখী হয়। এই দু'স্থানে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য হবে। এই দু'স্থানকে উদাসীন বিন্দু বলে।

যন্ত্রাদি (**apparatus**)। বড় একখানা ড্রইং কাগজ ; ড্রইং বোর্ড ; পিতলের চারটি ড্রইং পিন ; (পিনে বা বোর্ডে লোহার পেরেক বা লোহার অন্য কিছু থাকবে না) ; একটু কম জোরাল, চৌকো ছেদের স্থায়ী চুম্বক (এর উত্তর মেরু চিহ্নিত বা জানা থাকবে) ; বলরেখা আঁকার ছোট কম্পাস কাঁটা।

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) ঃ

(১) ড্রইং বোর্ডে কাগজ এঁটে কাগজের মাঝ বরাবর লম্বালম্বি একটি সরু রেখা টান (6.4 চিত্রের ab)।

(২) রেখার ওপর কম্পাসটি রেখে ড্রইং বোর্ড ঘুরিয়ে রেখাটি যাতে কম্পাসের অক্ষ বরাবর থাকে সে রকম কর। রেখার দুপ্রান্তে কম্পাস সরিয়ে রেখা কাঁটার অক্ষ বরাবর থাকে কি না দেখে নাও। না থাকলে বোর্ড দরকার মত ঘোরাও। তা হলে রেখাটি চৌম্বক উত্তর-দক্ষিণ দিক্ নির্দেশ করবে (রেখা চৌম্বক মধ্যতলে থাকবে।)



6.4 চিত্র (উত্তর মেরু উত্তর দিকে থাকলে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখা)

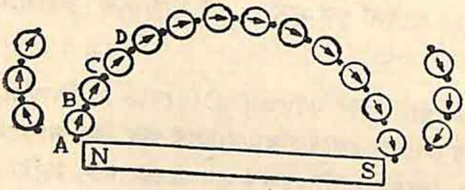
(৩) টেবিলের ওপর বোর্ডের সীমারেখা এক টুকরা চক (chalk) দিয়ে দাগিয়ে রাখ। কোন কারণে বোর্ড সরে গেলে

আবার চকের দাগের সঙ্গে মিলিয়ে রাখলে ab রেখা আবার চৌম্বক মধ্যতলে আসবে।

(৪) কম্পাস সরিয়ে দণ্ড-চুম্বকটি কাগজের মাঝামাঝি ab রেখার ওপর এমনভাবে রাখ যেন চুম্বকের অক্ষ রেখার ওপরে থাকে। (চুম্বকের লম্বালম্বি মধ্যরেখাকে এর অক্ষ ধরো।)

(৫) ছুঁচাল পেনসিল দিয়ে চুম্বকের সীমারেখা টান। (এ করতে গিয়ে চুম্বক বা বোর্ড যেন সরে না যায়।)

(৬) দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরুর কাছাকাছি কম্পাসটি রেখে কম্পাস কাঁটার দক্ষিণ ও উত্তর মেরুর অবস্থান পেনসিলের দুটি সূক্ষ্ম দাগ A ও B দিয়ে নির্দেশ কর (6.5 চিত্র।



6·5 চিত্র (বলরেখা আঁকা)

(৭) কম্পাস সরিয়ে কাঁটার দক্ষিণ মেরু B বিন্দুর ওপর আন। (কম্পাসে আস্তে আস্তে একটু টোকা দিয়ে দেখ কাঁটা আটকিয়ে গেছে কি না।) উত্তর মেরুর অবস্থান C দাগ দিয়ে নির্দেশ কর।

(৮) এইভাবে কম্পাস সরিয়ে সরিয়ে উত্তর মেরুর দাগগুলি দিয়ে যাও। দাগগুলি যোগ করলে যে রেখা হয়, তাই একটি বলরেখা। যে বলরেখা আঁকছ তা হয় কাগজের সীমার বাইরে চলে যাবে, বা দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর কাছে কোথাও শেষ হবে।

(৯) দণ্ড-চুম্বকের কাছের অন্য কোন বিন্দু (6.5 চিত্র) থেকে আরম্ভ করে একইভাবে আর একটি বলরেখা আঁক।

(১০) এইভাবে উত্তর মেরুর কাছ থেকে আরম্ভ করে অন্তত চারটি ও দক্ষিণ মেরুর কাছ থেকে আরম্ভ করে আরও চারটি (সম্ভব হলে আরও বেশী সংখ্যক) বলরেখা টান।

(১১) দণ্ড-চুম্বকের মধ্যবিন্দু থেকে দণ্ডের অক্ষের আড়াআড়ি কম্পাস সরিয়ে যাও। কিছুদূর গেলে দেখবে কম্পাস কাঁটা উত্তর-দক্ষিণে লম্বিত হয়ে থাকে না। একে যেদিকে ইচ্ছা সেই দিকে মুখ করে রাখা যায়। দণ্ড-চুম্বকের দু'পাশে এরকম দু'টি অবস্থান পাবে। 6.4 চিত্রে এই অবস্থান দু'টি × (ক্রস) চিহ্ন দিয়ে দেখান হয়েছে। ক্রসের দুদিকে (পূর্ব-পশ্চিমে) কম্পাস কাঁটার মুখ 180° ঘুরবে। ক্রস-চিহ্নিত স্থানে ভূক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সমান ও বিপরীত। একে অন্যকে নিষ্ক্রিয় করেছে বলে ওখানে কোন চৌম্বক ক্ষেত্র নাই। তাই কাঁটা বিশেষ কোন দিকে মুখ করে থাকে না।

(১২) ক্রসের চেয়ে আরও দূরে চুম্বকের দুপাশে দু'টি করে বলরেখা টান। এরা দণ্ড-চুম্বকে যাবে না। এরা ভূক্ষেত্রের বলরেখা এবং এদের তীরচিহ্ন দক্ষিণ থেকে উত্তরে হবে।

প্রত্যেক বলরেখায় দিক্ বুঝিয়ে চিহ্ন দিও। যথেষ্ট সংখ্যক বলরেখা আঁকলে রেখার মানচিত্র কেমন হবে তা 6.4 চিত্র থেকে বুঝতে পারবে।]

ফল (Result) : বলরেখার মানচিত্র সঙ্গের কাগজে দেখান হয়েছে।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)

(১) ড্রইংবোর্ডে কাগজ এঁটে কাগজের মাঝখানে লম্বালম্বি একটি রেখা টেনে ড্রইং বোর্ড ঘুরিয়ে কম্পাসের সাহায্যে রেখাটি চৌম্বক মধ্যতলে রাখা হল।

(২) টেবিলের ওপর চক দিয়ে ড্রইং বোর্ডে সীমারেখা টেনে নেয়া হল। কোন কারণে ড্রইং বোর্ড সরে গেলে আবার তাকে স্বস্থানে আনা যাবে এবং কাগজে টানা রেখা চৌম্বক মধ্যতলে থাকবে।

(৩) দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরু উত্তর দিকে রেখে ও এর অক্ষ (লম্বা দিকের মধ্যরেখা) কাগজে টানা রেখার ওপর রেখে, চুম্বকটি কাগজের মাঝখানে রাখা হল।

(৪) ছুঁচাল পেনসিল দিয়ে চুম্বকের সীমারেখা সাবধানে টেনে রাখা হল। চুম্বক কোন কারণে সরে গেলে চুম্বক আবার জায়গামত রাখা যাবে।

(৫) কম্পাস কাঁটার সাহায্যে চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ প্রান্তের কাছ থেকে কতকগুলি বলরেখা টানা হল।

(৬) চুম্বকের মধ্যবিন্দু থেকে চৌম্বক অক্ষের আড়াআড়ি কম্পাস সরিয়ে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান দেখে নিলাম। প্রত্যেক উদাসীন বিন্দুর দুই পাশে কয়েকটি করে বলরেখা টানা হল।

সতর্কতা। (১) কাজ করার টেবিলের কাছাকাছি অন্য কোন চুম্বক, চৌম্বক পদার্থ বা জোরাল বিদ্যুৎপ্রবাহ থাকবে না। থাকলে তা স্থানীয় ভূক্ষেত্রকে বিকৃত করবে। তাহলে বলরেখার স্বাভাবিক মানচিত্র পাওয়া যাবে না।

(২) চৌম্বক মধ্যতল ঠিক করার পর চুম্বক বা ড্রইং বোর্ড যাতে সরে না যায় সে বিষয়ে সতর্ক থাকতে হবে। যদিও সীমারেখা টানা থাকায় আবার ঠিক জায়গায় আনা যায়, তবুও সরা কাম্য নয়।

মৌখিক প্রশ্ন। (১) কোন্ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা টানলে ? (২) কম্পাসের সাহায্যে বলরেখা কিভাবে টানা যায় ? (৩) বলরেখা, চৌম্বক মধ্যতল, চুম্বকের অক্ষ কাদের বলে ? (৪) বলরেখার অভিমুখ বলতে কি বোঝায় ? তা কিভাবে দেখান হয় ? (৫) ভূক্ষেত্রের বলরেখার অভিমুখ কোন্ দিকে ? (৬) উদাসীন

বিন্দুতে কম্পাস কোন্ দিকে মুখ করে থাকে ? (৭) 'দুর্বল' দণ্ড-চুম্বক নিতে বলা হয়েছে কেন ?

উত্তর। (১) ভূচুম্বক ও প্রদত্ত চুম্বকের মিলিত ক্ষেত্রের। (২) 'পরীক্ষণের নির্দেশে'র (৬), (৭), (৮) নির্দেশ দেখ। (৩) 6-1.1. বিভাগের (ঘ), (চ), (ছ) অংশ দেখ। (৪) ও (৫) 6-1.1. বিভাগের (ঘ) ও (ঙ) অংশ দেখ। (৬) দুই চৌম্বক ক্ষেত্র উপরিপাতিত হলে কোন বিন্দুতে একের ক্ষেত্রপ্রাবল্য অন্যের সমান ও বিপরীত হতে পারে। এরকম বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলে। উদাসীন বিন্দুতে কোন চৌম্বক ক্রিয়া না থাকায় কম্পাস কাঁটা যেদিকে মুখ করে রাখা যাবে সেই দিকেই মুখ করে থাকবে। (৭) দণ্ড-চুম্বক বেশী জোরাল হলে উদাসীন বিন্দু কাগজের সীমার বাইরে থাকতে পারে। তাহলে মিলিত চৌম্বক ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য সবটা পাওয়া যাবে না।

মন্তব্য (Remarks)। (১) দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ ঠিক চৌম্বক মধ্যতলে না থাকলে বলরেখার চিত্র 6.4 চিত্রের মত প্রতিসম (symmetrical) দেখাবে না। (এ পরের পরীক্ষণ সম্বন্ধেও সত্য। সেখানে 6.6 চিত্র।)

(২) চিত্রকে প্রতিসম রূপ দিতে দণ্ড-চুম্বকের কেন্দ্র থেকে এর অক্ষের আড়াআড়ি একটি রেখা টান। এই রেখায়, ধর, 2 cm পর পর কতকগুলি বিন্দু দাগিয়ে দাও। প্রত্যেক বিন্দুর মধ্য দিয়ে বলরেখা টান।

6-3.2. পরীক্ষণ 26 [Experiment 26]

উত্তর মেরু দক্ষিণদিকে রেখে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার মানচিত্র আঁকা ও উদাসীন বিন্দু নির্ণয় করা

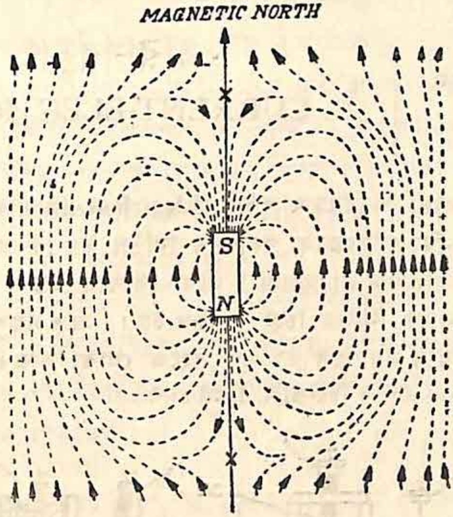
(Mapping the lines of force of a bar-magnet, north pole pointing south and to locate the neutral points)

পরীক্ষণের তত্ত্ব, যন্ত্রাদি, নির্দেশ, কার্যপ্রণালী প্রভৃতি সবই আগের পরীক্ষণের মত ; কেবল দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরু দক্ষিণদিকে মুখ করে রাখতে হবে।

বলরেখার মানচিত্রের ধরন 6.6 চিত্রের মত হবে। উদাসীন বিন্দু দুটি চৌম্বক অক্ষে থাকবে। অক্ষ বরাবর কম্পাস সরিয়ে উদাসীন বিন্দু অতিক্রম করলে চুম্বক কাঁটার মুখ 180° ঘুরে যাবে।

মৌখিক প্রশ্ন ও উত্তর আগের পরীক্ষণের মত।
আগের পরীক্ষণের 'মন্তব্য' দেখ।

বিশেষ বক্তব্য। চৌম্বক অক্ষ (6.6 চিত্রের মাঝখানের লম্বা সরল রেখা) বরাবর কম্পাস সরিয়ে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান বার কর ও সেখানে কম্পাস কাঁটার সীমারেখা টান। সীমারেখা ঘিরে একটি বর্গক্ষেত্র আঁক। (অক্ষ বর্গক্ষেত্রকে



6.6 চিত্র (উত্তর মেরু দক্ষিণ দিকে থাকলে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখা)

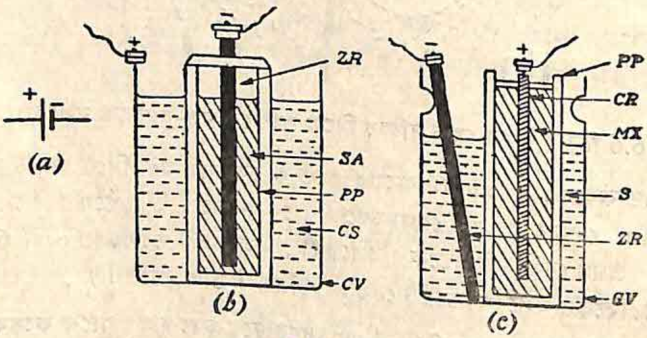
সমদ্বিখণ্ডিত করবে।) এই বর্গক্ষেত্রের প্রত্যেক কোনার মধ্য দিয়ে একটি করে বল-রেখা টান। দেখবে এর দুটি রেখা চুম্বকে যাবে ও অন্য দুটি চুম্বকের অনেক বাইরে থাকবে। প্রথম রেখা দুটি চুম্বকের বলরেখা; অন্য দুটি ভূক্ষেত্রের। (6.6 চিত্রে ক্রসের চারদিকের বলরেখা চারটি দেখ। তুমিও ঐগুলি পাবে।)

এ ছাড়া চুম্বকের আড়াআড়ি 1-2 cm. দূরে দূরে চুম্বকের দুপাশে কয়েকটি বিন্দু ফেলে তাদের প্রত্যেক বিন্দুর মধ্য দিয়ে বলরেখা টান। এদের কিছু চুম্বকে যাবে; এরা চুম্বকের বলরেখা। যেগুলি চুম্বকে যাবে না তারা ভূক্ষেত্রের বলরেখা।

সপ্তম পরিচ্ছেদ

ধারা-বিদ্যুৎ
CURRENT-ELECTRICITY

7-1. বিদ্যুৎ-ধারা ও বৈদ্যুৎ বর্তনী (Electrical circuit) সংক্রান্ত গোড়ার কটি কথা। ধারা-বিদ্যুৎ সংক্রান্ত পরীক্ষণে বিভিন্ন যন্ত্র কি ভাবে যুক্ত থাকে তা 'বর্তনীর নকশা' (circuit diagram) এঁকে বোঝান হয়। নকশায় বিভিন্ন বৈদ্যুতিক যন্ত্র বোঝাতে বিভিন্ন চিহ্ন ব্যবহৃত হয়। এতে নকশা দেখে কোন্ যন্ত্র কিভাবে বর্তনীতে যোগ করা হবে তা খুব সহজে বোঝা যায়। চিহ্নগুলি প্রায় সর্বত্রই এক। আমরা প্রথমে চিহ্নগুলি চিনে নেব।



7.1 চিত্র

((a) = সেলের কোষের চিহ্ন ;
(b) = ড্যানিয়েল কোষ [Z R = পারদ দিয়ে ঘষা জিংক দণ্ড ; S A = লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড বা জিংক সালফেট দ্রবণ ; P P = সছিদ্র পাত্র ; C S = সম্পৃক্ত কপার সালফেট দ্রবণ ; C V = কপারের পাত্র]
(c) = লেক্লাঁসে কোষ [PP = সচ্ছিদ্র পাত্র ; CR = কার্বন দণ্ড ; MX = MNO_2 ও কার্বন গুঁড়ার মিশ্রণ ; S = NH_4Cl দ্রবণ , Z R = জিংক দণ্ড ; G V = কাচ পাত্র])

7-2. বিদ্যুৎ-কোষ বা সেল (The electric cell)। এর চিহ্ন 7.1(*a*) চিত্রে দেখান হয়েছে। লম্বা দাগটি কোষের ধনাত্মক (+) প্রান্ত (terminal) ও খাট, মোটা

দাগটি কোষের ঋণাত্মক (–) প্রান্ত বোঝায়। পাশের সোজা লাইন দুটি কোষের প্রান্তের সঙ্গে অন্য কিছু যোগ করবার তার বোঝায়।

পরীক্ষাগারে তোমরা সম্ভবত তিন রকম কোষ ব্যবহার করবে—(ক) ডানিয়েল কোষ (Daniell cell), (খ) লেক্লাঁসে কোষ (Le'clanche cell) ও (গ) সঞ্চায়ক 'লেড-অ্যাসিড' (Lead Acid) কোষ। প্রথম দুটি প্রাথমিক **(Primary)** শ্রেণীর কোষ। তৃতীয়টি দ্বিতীয়ক (Secondary) শ্রেণীর। দুই রকম কোষেই রাসায়নিক ক্রিয়া হয়ে রাসায়নিক শক্তি বিদ্যুৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। প্রাথমিক কোষে রাসায়নিক উপাদানগুলির কোন একটি শেষ হয়ে গেলে নূতন করে ঐ উপাদান যোগ না করলে সেল আর কাজ করে না। দ্বিতীয়ক বা সঞ্চায়ক কোষে উপাদানের পরিবর্তন ঘটিয়ে তার প্রবাহ দেবার ক্ষমতা কমে যায়। তখন এর ভিতর দিয়ে বিপরীত দিকে বিদ্যুৎপ্রবাহ চালিয়ে উপাদানগুলি আবার গোড়ার অবস্থায় আনা যায় এবং কোষ থেকে ঠিক মত প্রবাহ পাওয়া যায়। নিচে কোষ-গুলির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দেয়া হল।

(ক) ড্যানিয়েল কোষ। 7.1(*b*) চিত্রে এর গঠন বোঝান হয়েছে। এর বিদ্যুৎচালক বল (e.m.f.) 1·08 ভোল্ট ধরা যায়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কয়েক ওহ্‌ম্ (কোষের আকার ও গঠনের ওপর তা নির্ভর করে)। এই কোষ অনেকক্ষণ ধরে কার্যত স্থিরমান, বিদ্যুৎ-ধারা দিতে পারে। কাজ শেষ হলে জিংক সমেত অংশ কোষ থেকে বার করে রাখা দরকার। নাহলে কোষের আয়ু কমে।

(খ) লেক্লাঁসে কোষ (7.1*c* চিত্র)। এর বিদ্যুৎচালক বল প্রায় 1·45 ভোল্ট এবং অভ্যন্তরীণ রোধ কয়েক ওহ্‌ম্। কিছুক্ষণ ধরে প্রবাহ দিতে থাকলে কোষের ছদন (polarization) সম্পূর্ণ দূর না হওয়ায় প্রবাহ আস্তে আস্তে কমে। এইজন্য যেসব কাজে এক এক বারে অল্পক্ষণের জন্য প্রবাহ দরকার হয়, সেইসব কাজে এর ব্যবহার প্রশস্ত। মিটার ব্রিজ ও পোস্ট অফিস বক্সের কাজে এ কোষ ব্যবহার করা যায়। তৈরী কোষ অনেক দিন একভাবে রাখা যায় ; ক্ষতি হয় না।

(গ) লেড-অ্যাসিড কোষ বা লেড সঞ্চায়ক কোষ (**Lead Storage cell** বা **Lead Accumulator**)। এই কোষ সঞ্চায়ক বা দ্বিতীয়ক (secondary) শ্রেণীর। এর দুই প্রান্তের কোন্‌টি ধনাত্মক (+) ও কোন্‌টি ঋণাত্মক (–)

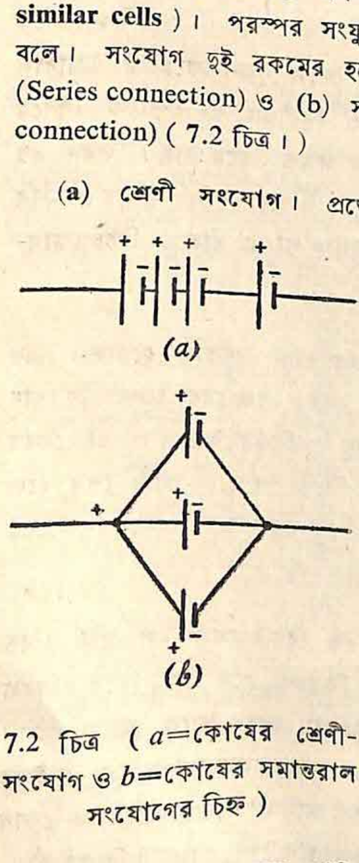
তা + ও − চিহ্ন দিয়ে নির্দেশ করা থাকে। অনেক ক্ষেত্রে + প্রান্ত লাল রঙের ও − প্রান্ত কালো রঙের করা হয়। এর বি.চা.ব. (e.m.f.) সাধারণত 2 ভোল্ট ধরা হয়। সঞ্চায়ক কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম হয়। সেজন্য যাতে 'সর্ট সার্কিট' (Short circuit=নাম মাত্র রোধে দুই প্রান্ত যুক্ত হওয়া) না হয় সে বিষয়ে খুব সতর্ক থাকা উচিত। এই জন্য এর কোন এক প্রান্তের সঙ্গে বাহ্য বর্তনীতে দু-এক ওহ্ম্ রোধ শ্রেণীসজ্জায় রাখা দরকার।

7-2.1. একই প্রকার একাধিক কোষের সংযোগ (**Arrangement of similar cells**)। পরস্পর সংযুক্ত একাধিক কোষকে ব্যাটারি (**Battery**) বলে। সংযোগ দুই রকমের হতে পারে—(a) শ্রেণী-সংযোগ বা শ্রেণীসজ্জা (Series connection) ও (b) সমান্তরাল সংযোগ বা সমান্তরাল সজ্জা (Parallel connection) (7.2 চিত্র।)

(a) শ্রেণী সংযোগ। প্রত্যেক কোষের বিদ্যুৎচালক বল (বি.চা.ব. বা e.m.f.) E ভোল্ট ও অভ্যন্তরীণ রোধ r ওহ্ম্ হলে এবং n সংখ্যক কোষ শ্রেণীসজ্জায় যুক্ত থাকলে (7.2*a* চিত্র)

ব্যাটারির বি.চা.ব. (e.m.f.)$=n$E ভোল্ট ;
ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ$=nr$ ওহ্ম্।

শ্রেণীসজ্জায় সকল কোষের ভিতর দিয়ে একই প্রবাহ চলে।



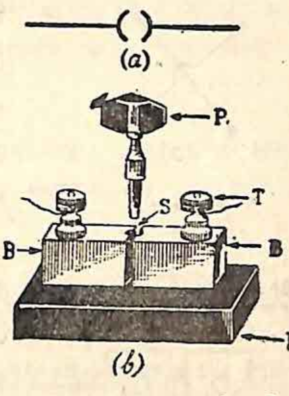
7.2 চিত্র (a=কোষের শ্রেণী-সংযোগ ও b=কোষের সমান্তরাল সংযোগের চিহ্ন)

(b) সমান্তরাল সংযোগ। প্রত্যেক কোষের বিদ্যুৎচালক বল (বি. চা. ব. বা e.m.f.) E ভোল্ট ও অভ্যন্তরীণ রোধ r ওহ্ম্ হলে এবং n সংখ্যক কোষ সমান্তরাল সজ্জায় যুক্ত থাকলে (7.2*b* চিত্র)

ব্যাটারির বি. চা. ব. (e m.f.)$=$E ভোল্ট ;
ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ$=r/n$ ওহ্ম্।

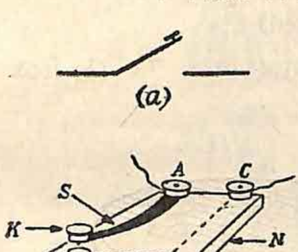
7-3. বিভিন্ন রকমের চাবি (**Different kinds of Keys**)। বিদ্যুত বর্তনীতে 'চাবি' (Key) বলতে বর্তনীতে ছেদ ঘটান বা বর্তনী সম্পূর্ণ (বা বন্ধ) করার কোন ব্যবস্থা বোঝায়। তাছাড়া, বাহ্য বর্তনীর সঙ্গে কোষ বা ব্যাটারির প্রান্তের সংযোগ ওল্টানর ব্যবস্থাও এক রকম চাবি।

(১) প্লাগ চাবি (**Plug Key**)। 7.3(a) চিত্রে এর চিহ্ন ও 7.3(b) চিত্রে এর গঠন দেখান হয়েছে। এতে অপরিবাহী (N) পাতের ওপর একটু ফাঁক করে পিতলের দুটি খণ্ড (B) বসান থাকে। দু'খণ্ডের সঙ্গে বাঁধনী স্ক্রু (Binding screw ; T) লাগান। বর্তনীর কোন এক জায়গায় বর্তনী ছিন্ন করে এর দুই প্রান্ত এই দুই স্ক্রুতে লাগান থাকে। দুই ধাতুখণ্ডের মাঝখানে গোল, ক্রমশ সরু একটি গর্ত (Socket ; ছবির S)। একই আকারের পিতলের নিরেট এক টুকরা (Plug ; ছবির P) ঐ গর্তে বসালে বর্তনী পূর্ণ হয় ও প্রবাহ চলে। প্লাগ লাগাবার বা খোলবার সময় এতে একটু মোচড় দেবে।



7.3 চিত্র (a=প্লাগ চাবির চিহ্ন ও b=প্লাগ চাবির গঠন)

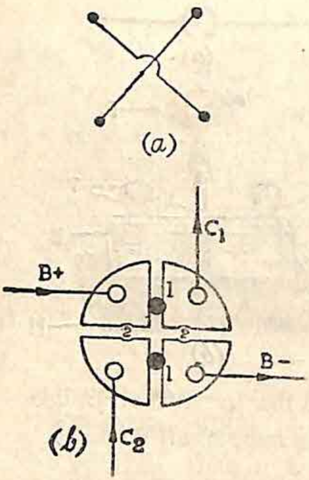
(২) টোকা দেয়ার চাবি (**Tapping Key**)। 7.4 (a) চিত্রে এর চিহ্ন ও 7.4 (b) চিত্রে এর গঠন দেখান হয়েছে। এতে অপরিবাহী পাত N-এর ওপর A, C বাঁধনী স্ক্রু ও ধাতুখণ্ড B লাগান থাকে। B-র সঙ্গে C-র ধাতব সংযোগ পাতের নিচের দিক দিয়ে। A-র সঙ্গে স্প্রিংয়ের মত একখণ্ড ধাতুপাত (S) লাগান। S-এর মাথায় K-তে চাপ দিলে A ও C-তে ধাতব সংযোগ হয়। K-র চাপ সরালে A ও C-র সংযোগ ছিন্ন হয়। বর্তনীর দুই দিক A ও C-তে লাগান থাকে। K চাবি টিপলে বর্তনী পূর্ণ হয় ও প্রবাহ চলে। K ছেড়ে দিলে বর্তনীতে ছেদ পড়ে ; তখন প্রবাহ চলে না। যে বর্তনীতে প্রবাহ কেবল মধ্যে মধ্যে অল্পক্ষণের জন্য দরকার হয়, সে বর্তনীতে এই চাবি ব্যবহার প্রশস্ত।



7.4 চিত্র (টোকা দেয়ার চাবির চিহ্ন ও গঠন)

(৩) ধারা ওল্টাবার চাবি (**Reversing Key**)। 7.5 (a) চিত্রে এর চিহ্ন ও 7.5 (b) চিত্রে এর গঠন দেখান হয়েছে। এতে পিতলের চারখণ্ড মোটা পাত পরস্পর একটু ফাঁক করে অপরিবাহী আসনে বসান। প্রত্যেক পাতে একটি করে বাঁধনী স্ক্রু লাগান। পাশাপাশি দুই পাতের মধ্যে কোনাচে গর্ত। তার দুটি গর্তে বসাবার জন্য প্লাগ চাবির মত প্লাগ থাকে।

কোনাকুনি দুই স্ক্রু B+ ও B−এ ব্যাটারির+ও−প্রান্ত যোগ করা হয়। অন্য দুই স্ক্রু C_1, C_2 বর্তনীতে লাগান হয়। প্লাগ দুটি যদি 1, 1 গর্তে বসান হয়, তবে ব্যাটারি থেকে প্রবাহ B+ দিয়ে এসে C_1 পথে বর্তনীতে যায়, ও বর্তনী ঘুরে C_2 পথে ফিরে B-দিয়ে ব্যাটারিতে যায়। প্লাগ দুটি 2, 2 গর্তে বসালে প্রবাহ B+ দিয়ে এসে C_2 পথে বর্তনীতে যায়। এ ক্ষেত্রে বর্তনীতে প্রবাহ আগের বিপরীতে হয়। এইভাবে ধারা ওলটাবার প্লাগ চাবি ব্যবহৃত হয়। ওলটাবার সময় 1, 1, থেকে দুটি চাবিই খুলে নিয়ে তারপর 2, 2 তে বসাবে। একটি 1-এ এবং অন্যটি 2-তে থাকলে ব্যাটারি 'শর্ট সার্কিট' হতে পারে। এ কোষ বা ব্যাটারির পক্ষে ক্ষতিকর তা আগেই বলা হয়েছে।

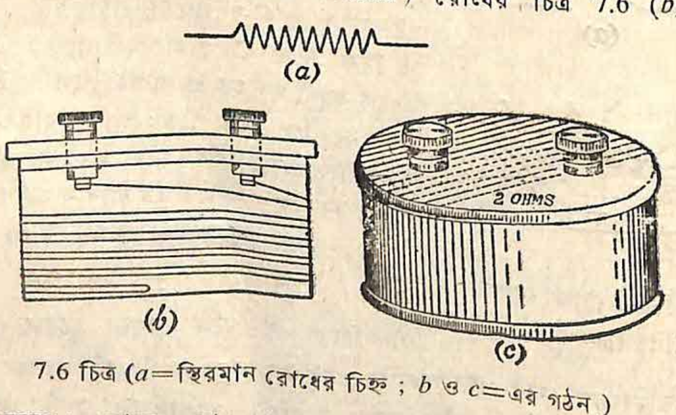


7.5 চিত্র (ধারা ওল্টাবার চাবির চিহ্ন ও গঠন)

ধারা ওলটাবার প্লাগ চাবি ছাড়া অন্য রকম চাবিও আছে। কিন্তু তোমরা সম্ভবত এই প্লাগ চাবিই ব্যবহার করবে।

7-4. বিভিন্ন রকমের রোধ (Resistance)। বৈদ্যুত রোধগুলি সাধারণত উপযুক্ত আধারে আবদ্ধ, কুণ্ডলিত ও অন্তরিত (insulated) তার।

(১) স্থিরমান রোধ। স্থিরমান (fixed) রোধের চিত্র 7.6 (*b*) চিত্রে



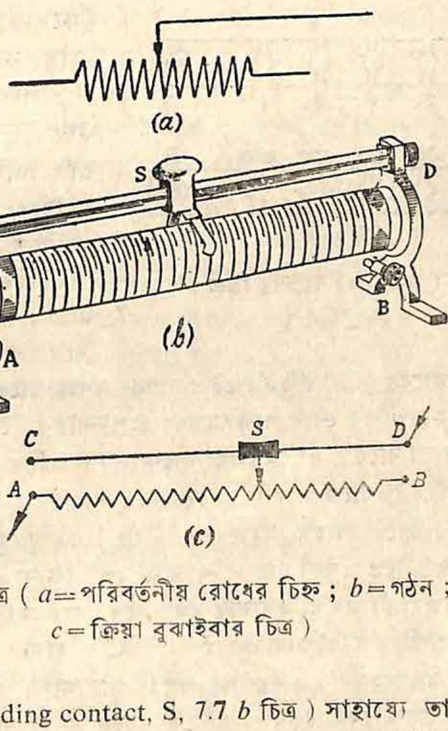
7.6 চিত্র (*a*=স্থিরমান রোধের চিহ্ন ; *b* ও *c*=এর গঠন)

দেখান হয়েছে। আসল রোধ নানা রকম গঠনের হতে পারে। 7.6 (*b*) চিত্রে

এর একটি গঠন দেখান হয়েছে। অন্তরিত ধাতুতার দুভাঁজ করে কাটিম (Bobbin)-এ জড়ান থাকে। মোম দিয়ে একে ঢেকে দেয়া হয়। সবটা কোন অপরিবাহী কৌটার ভিতরে থাকে। কৌটার মাথায় দুই বাঁধনী স্ক্রুতে রোধ-তারের দুই প্রান্ত যুক্ত থাকে। রোধের মান সাধারণত কৌটার গায়ে লেখা থাকে (7.6 *c*)।

এই সব রোধ দিয়ে বেশী প্রবাহ চলতে দিতে নাই। প্রবাহ বেশী হলে জুল তাপনে রোধ উষ্ণ হয় এবং রোধের মান বাড়ে। প্রবাহ অনেক বেশী হলে রোধ-কুণ্ডলী পুড়ে যেতে পারে।

(২) পরিবর্তনীয় রোধ (**Rheostat**)। 7.7 (*a*) চিত্রে এর চিহ্ন ও 7.7 (*b*) চিত্রে এর গঠন দেখান হয়েছে। এগুলিতে একটি পোর্সিলেন নলের সর্পিল খাঁজের ওপর নগ্ন ম্যাংগানিন বা ইউরেকা তার জড়ান থাকে। ইচ্ছেমত সরান যায় এমন

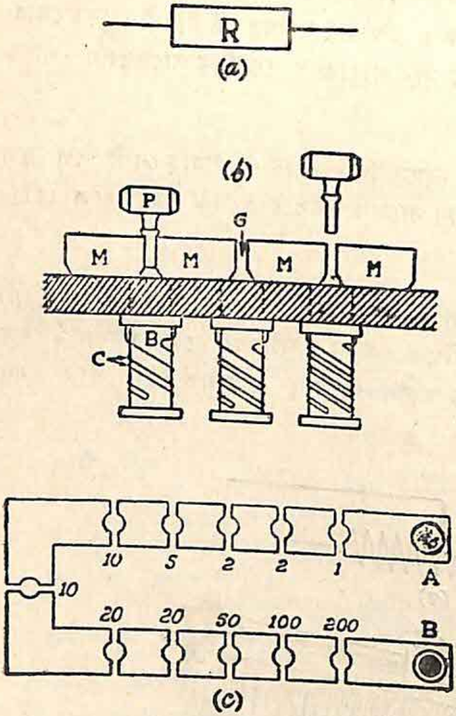


7.7 চিত্র (*a*= পরিবর্তনীয় রোধের চিহ্ন ; *b*= গঠন ; *c*= ক্রিয়া বুঝাইবার চিত্র)

সংযোগ ব্যবস্থার (Sliding contact, S, 7.7 *b* চিত্র) সাহায্যে তারের যে কোন অংশ বর্তনীতে নেয়া যায়। বর্তনী A এবং D-তে যুক্ত থাকলে AS অংশ বর্তনীতে

আসে (7.7 *b* ও *c* চিত্র)। রিওস্ট্যাটের মোট রোধ কত, এবং ঊর্ধ্বপক্ষে তা দিয়ে কত প্রবাহ যেতে দেয়া চলে তা রোধের গায় লেখা থাকে (ধর 5 ohm, 2 amp.)।

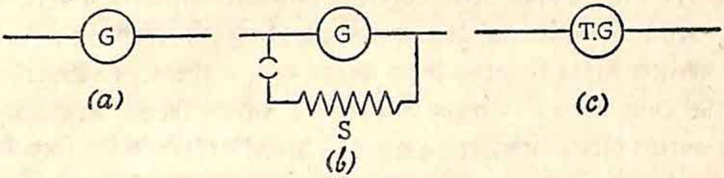
(৩) রোধের বাক্স (**Resistance box**)। রোধের বাক্সের চিহ্ন 7.8 (*a*) চিত্রে ও গঠন 7.8 (*b*) ও (*c*) চিত্রে বোঝান হয়েছে। এতে একটি বাক্সের ভিতরে বিভিন্ন মানের কয়েকটি স্থিরমান রোধকুণ্ডলী (C, 7.8 *b* চিত্র) বিভিন্ন কাটিমে (B) জড়ান থাকে। কুণ্ডলীগুলি পিতলের টুকরো (M) দিয়ে শ্রেণীসজ্জায় যোগ করা। পর পর দুটি পিতলের টুকরার মাঝে একটু ফাঁক (G) থাকে ও সেখানে প্লাগ চাবির মত প্লাগ (P) বসাবার গর্ত থাকে। বাক্স বর্তনীতে জুড়ে কোন প্লাগ (P) খুলে নিলে প্রবাহ ঐ প্লাগের নিচের রোধকুণ্ডলী দিয়ে যায়। প্লাগ স্বস্থানে থাকলে নিচের রোধের 'শট সার্কিট' ঘটে ; তখন প্রবাহ প্লাগের মধ্য দিয়েই যায় ; প্লাগ বা ধাতুর টুকরাগুলির রোধ একেবারেই উপেক্ষণীয়। কোন প্লাগের নিচের রোধের মান কত তা বাক্সের ওপরে লেখা থাকে (7.8 *c* চিত্র)। বাক্সের দু'প্রান্তে দুটি বাঁধনী স্ক্রু (A, B) থাকে। বর্তনী এতে যোগ করা হয়। 7.8 (*c*) চিত্রে রোধের যে মানগুলি লেখা আছে তাদের সাহায্যে বর্তনীতে 1 ওহ্‌ম্ থেকে 420 ওহ্‌ম্ পর্যন্ত যে কোন রোধ বর্তনীতে দেয়া যায়। দরকার মত এক বা একাধিক প্লাগ খোলা চলে। প্লাগ খোলবার সময় বা বসাবার সময় এতে একটু মোচড় দেবে।



7.8 চিত্র (*a*=রোধ বাক্সের চিহ্ন ; *b* ও *c*=গঠন)

7-5 ধারামাপী (Galvanometer)। বিদ্যুৎ ধারার অস্তিত্ব টের পাবার জন্য ধারামাপী ব্যবহৃত হয়। এ খুব সূক্ষ্ম যন্ত্র। ধারামাপী অনেক রকমের হতে পারে। সম্ভবত তোমাদের কেবল টেবিলে রেখে কাজ করার মত চলকুণ্ডলী ধারামাপী (Moving-coil Table Galvanometer) দেয়া হবে। যন্ত্রের ভিতরে

জোরাল চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা সরু তারের বহু পাকের চৌক একটি কুণ্ডলী থাকে। কুণ্ডলী দিয়ে প্রবাহ গেলে কুণ্ডলীতে লাগান একটি কাঁটা (Pointer) যন্ত্রের স্কেলের



7.9 চিত্র (a=ধারামাপীর চিহ্ন ; b=শাণ্টযুক্ত ধারামাপীর চিহ্ন c=ট্যানজেণ্ট ধারামাপীর চিহ্ন)

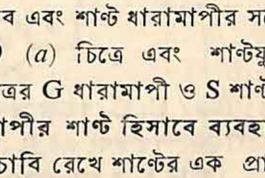
ওপর দিয়ে সরে। কুণ্ডলীতে প্রবাহের দিক্ ওলটালে কাঁটার গতি আগের বিপরীত দিকে হয়। প্রবাহ বেশী হলে কাঁটার বিক্ষেপও বেশী হয়।

ধারামাপী খুব সূক্ষ যন্ত্র বলে তা দিয়ে কখনও জোরাল প্রবাহ যেতে দিতে নাই। কাজ করতে গিয়ে প্রথমে ধারামাপী দিয়ে কত প্রবাহ যেতে পারে তা জানা থাকে না। সেজন্য প্রথমে এর সঙ্গে অল্প রোধের একটি শাণ্ট (Shunt) রাখতে হয়। শাণ্টের রোধ ধারামাপীর রোধের চেয়ে অনেক কম হবে এবং শাণ্ট ধারামাপীর সঙ্গে সমান্তরাল সজ্জায় থাকবে। ধারামাপীর চিহ্ন 7.9 (a) চিত্রে এবং শাণ্টযুক্ত ধারামাপীর চিহ্ন 7.9 (b) চিত্রে দেখান হয়েছে। চিত্রের G ধারামাপী ও S শাণ্ট। **কুণ্ডলীত ও অন্তরিত খুব সরু একগাছা তার ধারামাপীর শাণ্ট হিসাবে ব্যবহার করা যায়।** কুণ্ডলীর সঙ্গে শ্রেণীসজ্জায় একটি প্লাগ চাবি রেখে শাণ্টের এক প্রান্ত ও প্লাগ চাবির অন্য প্রান্ত ধারামাপীর দুই প্রান্তে যোগ করা সুবিধার। প্লাগ বসান থাকলে শাণ্ট ক্রিয়া করবে। প্লাগ খুলে নিলে শাণ্ট নিষ্ক্রিয় হবে।

ধারামাপীর স্কেলে শূন্য দাগ (Zero mark) সাধারণতঃ স্কেলের মাঝখানে থাকে। এদের centre-zero instrument বলে। কোন্ অবস্থায় ধারামাপীতে প্রবাহের দিক্ ওলটায় এরকম স্কেল থাকলে তা সহজে বোঝা যায়।

ট্যানজেণ্ট ধারামাপীর চিহ্ন 7.9 (c) চিত্রে দেখান হয়েছে।

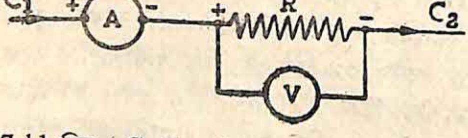
7-6. অ্যাম্মিটার (Ammeter)। অ্যাম্মিটারের সাহায্যে কোন পরিবাহীতে বা বর্তনীতে প্রবহমান বিদ্যুৎ-ধারার মান সোজাসুজি অ্যাম্পিয়ারে জানা যায়। যে পরিবাহিতে প্রবাহের মান জানা দরকার তাতে কোথাও ছেদ ঘটিয়ে সেই ছেদে অ্যাম্মিটার শ্রেণীসজ্জায় বসাতে হয়। অ্যাম্মিটারের রোধ এত কম হতে হবে যেন তা বর্তনীতে যোগ করায় বর্তনীর প্রবাহের উল্লেখযোগ্য কোন



7.10 চিত্র (a=অ্যাম্মিটারের চিহ্ন ; b=ভোল্টমিটারের চিহ্ন)

পরিবর্তন না হয়। সাধারণতঃ ধারামাপীতে অল্পরোধের শান্ট যোগ করে একে অ্যাম্মিটারে পরিবর্তিত করা হয়। অ্যাম্মিটারের স্কেল অ্যাম্পিয়ারে দাগ কাটা থাকে। অ্যাম্মিটার অনেক রকমের হলেও তোমাদের চলকুণ্ডলী অ্যাম্মিটার ব্যবহার করতে দেয়া হবে। এ কার্যত অল্প রোধের শান্ট-যুক্ত চলকুণ্ডলী ধারামাপী। প্রবাহের দিক্ বদলালে কাঁটার বিচলনের দিক্ও বদলায় বলে, অ্যাম্মিটারের দুই প্রান্তে + ও — চিহ্ন দেয়া থাকে। ধনাত্মক প্রান্ত বর্তনীর ধনাত্মক দিকের সঙ্গে ও ঋণাত্মক প্রান্ত ঋণাত্মক দিকের সঙ্গে যোগ করতে হয়। নাহলে কাঁটা স্কেলে ঠিক দিকে না সরে বিপরীত দিকে সরে। প্রবাহ একটু জোরাল হলে এতে কাঁটা বেঁকে যায়। অতএব বর্তনীতে অ্যাম্মিটার যোগ করতে + ও — প্রান্ত সম্বন্ধে খুব সতর্ক হবে। অ্যাম্মি-টারের চিহ্ন 7.10 (*a*) চিত্রে দেখান হয়েছে।

7-7. ভোল্টমিটার (**Voltmeter**)। ভোল্টমিটার দিয়ে বর্তনীর যে কোন দুই বিন্দুর মধ্যে বিভববৈষম্য ভোল্টে মাপা হয়। এর চিহ্ন 7.10 (*b*) চিত্রে দেখান হয়েছে। ধারামাপীর সঙ্গে শ্রেণীসজ্জায় উচ্চ রোধ যোগ করলে তা ভোল্টামিটার পরিণত হয়। ভোল্টমিটার যন্ত্রের ভিতরেই চলকুণ্ডলীর সঙ্গে এই উচ্চ রোধ যোগ করা থাকে। এই রোধের মান এমন হওয়া উচিত যে তা বর্তনীর কোন অংশে সমান্তরাল সজ্জায় যোগ করায় বর্তনীতে প্রবাহের কোন উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন না হয়।



7.11 চিত্র (C_1 C_2 বর্তনীতে অ্যাম্মিটার A-র শ্রেণী-সংযোগ এবং এর R রোধকে ভোল্ট-মিটার V-র সমান্তরাল সংযোগ)

বর্তনীর যে দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব-বৈষম্য মাপতে হবে ভোল্টমিটারের দুই প্রান্ত সেই দুই বিন্দুতে যোগ করতে হয়। অ্যাম্মিটারের মত ভোল্টমিটারের প্রান্তেও + ও — চিহ্ন দেয়া থাকে। + চিহ্ন যুক্ত প্রান্ত বর্তনীর ধনাত্মক দিকের সঙ্গে ও — চিহ্নযুক্ত প্রান্ত ঋণাত্মক দিকের সঙ্গে যোগ করতে হয়। ভোল্টমিটার যোগ করতে বর্তনীতে ছেদ ঘটাতে হয় না। আলোচ্য দুই বিন্দুর মধ্যবর্তী বর্তনীর অংশের সঙ্গে ভোল্টমিটার সমান্তরাল সজ্জায় বসে। 7.11 চিত্রে বর্তনীতে অ্যাম্মিটার ও ভোল্ট-মিটার যোগ করার ধরন দেখান হয়েছে। ভোল্টমিটারের স্কেলে কাঁটার অবস্থান ভোল্টে বিভববৈষম্যের মান নির্দেশ করে।

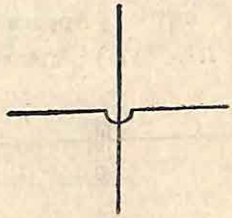
7-8. বর্তনী গঠন করা সম্বন্ধে কটি কথা। বর্তনীতে সব সময়ই একটি কোষ বা একাধিক কোষের ব্যাটারি থাকবে। এ থেকেই বিদ্যুৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। কোষের দুই প্রান্তের সঙ্গে দরকার মত বিভিন্ন রোধ ও যন্ত্র খাট অন্তরিত তামার তার

দিয়ে শ্রেণীসজ্জায় (বা যেখানে দরকার, সমান্তরাল সজ্জায়) যোগ করা হয়। কোষের ধনাত্মক প্রান্ত থেকে বর্তনী বরাবর আগাতে থাকলে বর্তনীর কোন রোধের বা অংশের যে প্রান্তে প্রথম পৌঁছবে তাই ঐ রোধের বা অংশের ধনাত্মক প্রান্ত। অ্যাম্মিটার, ভোল্টমিটার যোগ করতে এভাবে দেখে নিলে ধনাত্মক, ঋনাত্মকের কোন গোলমাল হবে না।

প্রত্যেক পরীক্ষণেই বর্তনী চিত্র দেয়া আছে। বিভিন্ন যন্ত্র বা রোধগুলি যোগ করতে খাট অন্তরিত তামার তার ব্যবহার করবে। এদের রোধ সাধারণত উপেক্ষণীয়। সংযোগী তারের (connecting wires-এর) দুই প্রান্ত থেকে 2—3 cm সুতার আবরণ খসিয়ে নেবে। নগ্ন অংশ একটু হুকের যত বাঁকিয়ে বাঁধনী স্ক্রুতে বাঁধবে। তারের সংযোগ যেন ঢিলে না থাকে। সংযোগের কাছে তার একটু টেনে দেখলেই তা ঢিলে কি না বুঝতে পারবে। বাঁধনী স্ক্রুতে অযথা বেশী জোর দেয়ার কোন প্রয়োজন নাই।

কোষ বা ব্যাটারির ঠিক পরেই একটি প্লাগ চাবি খোলা অবস্থায় রেখো। বর্তনী গঠন সম্পূর্ণ হলে তা শিক্ষককে দেখিয়ে তাঁর অনুমোদন পেলে তবেই প্লাগ বসিয়ে বর্তনী পূর্ণ করে কাজ আরম্ভ করবে।

শ্রেণীসজ্জায় যে সব রোধ থাকে তাদের কোন্‌টি আগে কোন্‌টি পরে বসবে এরকম কোন প্রশ্ন নাই। 2 ওহ্‌ম্ ও 100 ওহ্‌ম্ দুটি রোধ যদি কোষের সঙ্গে শ্রেণীসজ্জায় জুড়তে হয়, তাহলে কোন্‌টি কোষের কাছে থাকল, কোন্‌টি দূরে থাকল তাতে কিছু আসে যায় না। শ্রেণী সজ্জায় যুক্ত সকল রোধের মধ্যে দিয়ে একই প্রবাহ যায়। বর্তনীতে কখনও কখনও একগাছা সংযোগী তার অন্য এক গাছা তারের ওপর দিয়ে গিয়েছে এরকম দেখান দরকার হয়। 7.12 চিত্র এরকম দেখাবার চিহ্ন (ধারা ওল্টাবার চাবির চিহ্ন দেখ)। দুই তারই অন্তরিত; কাজেই এদের পারস্পরিক সংযোগ নাই।



7.12 চিত্র (বিনা সংযোগে একগাছা তারের ওপর দিয়া আর একগাছা তার যাওয়ার চিহ্ন)

সংযোগী তারগুলিকে কেবল সরলরেখা এঁকে বোঝান হয়। এদের রোধ সম্পূর্ণ উপেক্ষা করা হয়। সংযোগী তার সরল রেখা দিয়ে বোঝান হয় বলে তোমাকেও ঐ তারগুলি অনুরূপ সোজা রাখতে হবে তা নয়। এরা কেবল বিভিন্ন অংশের সংযোগ বোঝায়। তোমার সংযোগ এরকম হলেই হবে। লম্বা রেখা বলে লম্বা সংযোগী তার, বা খাট রেখা বলে খাট তার ব্যবহার করতে হবে এরকম কোন নিয়ম বোঝায় না। তবে বর্তনী দেখতে পরিষ্কার থাকা উচিত। যন্ত্রগুলি এমন জায়গায় রাখবে যাতে সহজে পাঠ নেয়া যায়। যে সব যন্ত্র (রোধক ইত্যাদি)

বসিও না। A ও V-তে কাঁটা ঠিক শূন্য দাগে আছে কি না দেখ। এ শূন্য দাগে থাকা দরকার। নাহলে পাঠে উপযুক্ত শুদ্ধি করতে হবে।

(২) **শিক্ষককে বর্তনী দেখাও।** তিনি অনুমতি দিলে K-তে চাবি বসিয়ে কাজ আরম্ভ করবে।

(৩) Rh-এ পুরা রোধ রাখ। এতে অ্যাম্মিটারে প্রবাহ সব চেয়ে কম হবে। ভোল্টমিটারও সবচেয়ে কম পাঠ দেবে। অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের পাঠ দেখে লিখে রাখ।

(৪) Rh-এর রোধ একটু কমাও। এতে প্রবাহ I ও বিভববৈষম্য V একটু বাড়বে। নূতন পাঠ লিখে রাখ।

(৫) Rh-এর রোধ বদলিয়ে I ও V-র মোট অন্তত পাঁচ জোড়া পাঠ নাও। কেবল পাঠ নেবার আগে বর্তনীতে চাবি বসাবে ; অন্য সময় চাবি খুলে রাখবে।

(৬) এবার I কমাতে থাক। বাড়াবার সময় যে I-এর জন্যে V মেপেছিলে সেই একই I-এর জন্য আবার V-এর পাঠ নাও।

(৭) K-র চাবি খুলে রাখ। ব্যাটারির তারও খুলে দাও।

(৮) I-কে ভুজ (X-axis) এবং V-কে কোটি (Y-axis) ধরে এই পাঁচটি বিন্দু গ্রাফ কাগজে বসাও। বিন্দুগুলি সরলরেখায় থাকবে এবং রেখা (O, O) মূলবিন্দুর মধ্যে দিয়ে যাবে। এ থেকেও ওহ্‌ম্ সূত্র প্রমাণিত হয়।]

নিরীক্ষা (Observations) ও হিসাব (Calculations) ।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রবাহ (I) amp	বিভব বৈষম্য (V) volt যখন প্রবাহ বাড়ছে	বিভব বৈষম্য (V) volt যখন প্রবাহ কমছে	গড় (V) volt	$\frac{V}{I}$-এর মান Ohm
1.	...	...	...	...	...
2.					
3.					
4.					
5.					
ইত্যাদি					

(**V/I** অনুপাত দশমিকে লিখবে)

সিদ্ধান্ত (**Conclusion**)। সারণি থেকে দেখা যায় I এবং V-র মান আলাদা হলেও V/I অনুপাতের মান কার্যত একই। এতে বোঝা যায় এরা একে অন্যের

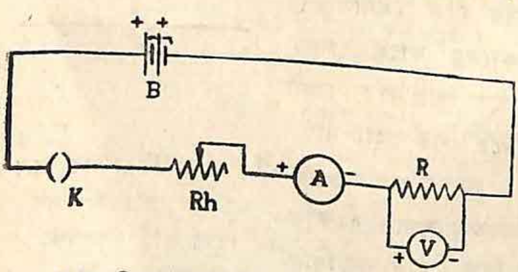
নাড়াচাড়া করতে হবে তারাও হাতের কাছে থাকবে। ঐগুলি নাড়াচাড়ার পথে অন্য যন্ত্রে বাধা না পায়। সংযোগী তার এক গাছা আর এক গাছার ওপর দিয়ে যথাসম্ভব না যাওয়াই ভাল।

7-9. পরীক্ষণ 27 (Experiment 27)

অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটার ব্যবহার করে ওহ্‌ম্ সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়
(To verify Ohm's law using an Ammeter and a Voltmeter)

তত্ত্ব (Theory)। ওহ্‌ম্ সূত্রে বলে পরিবাহীর ভৌত অবস্থা না বদলালে এতে প্রবহমান বিদ্যুৎ-ধারা (I) এর প্রান্তের প্রযুক্ত বিভববৈষম্যের (V) সমানুপাতিক। অর্থাৎ $\frac{V}{I}$ = ধ্রুবক। কোন রোধকে প্রবাহ স্থির রেখে প্রবাহ অ্যাম্মিটারের সাহায্যে ও রোধকের প্রান্তীয় বিভববৈষম্য ভোল্টমিটারের সাহায্যে মেপে বিভিন্ন প্রবাহে বিভববৈষম্য ও প্রবাহের অনুপাত স্থির থাকে কি না দেখে ওহ্‌ম্ সূত্রের সত্যতা যাচাই করা যায়।

যন্ত্রাদি (Apparatus)। শ্রেণীসজ্জায় দুটি সঞ্চায়ক কোষের ব্যাটারি B (7.13 চিত্র); প্লাগ চাবি (K) ; পরিবর্তনীয় রোধ (Rheostat) Rh (5 ওহ্‌ম্, 3 অ্যাম্পিয়ার পাল্লার); অ্যাম্মিটার A(0→1·5 amp পাল্লার); অজানা, স্থিরমান রোধক R (প্রায় 4 ওহ্‌ম্ রোধের একটু মোটা ম্যাঙ্গানিন বা ইউরেকা তার); ভোল্ট-মিটার V (0→5 ভোল্ট পাল্লার); কতকগুলি সংযোগী তার।



7.13 চিত্র (ওহ্‌ম্ সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়ের বর্তনী চিত্র)

(বিদ্যুৎসংক্রান্ত প্রত্যেক পরীক্ষণেই উপযুক্ত মানের যন্ত্র ব্যবহার করা দরকার। আমরা যে সব মানের যন্ত্রের কথা বলব সকল শিক্ষায়তনে তা না থাকতেও পারে। যেখানে থাকবে না, সেখানে শিক্ষককে জিজ্ঞাসা করে যে সব মানের যন্ত্র আছে সেগুলি থেকেই উপযুক্ত মানের যন্ত্র বেছে নিতে হবে।)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)]

(১) 7.13 চিত্রে যেমন দেখান আছে ঐ ভাবে বর্তনী গঠন কর। (আগে 7-1 থেকে 7-8 বিভাগগুলি ভাল করে পড়ে নাও।) K-তে প্লাগ আগেই

আনুপাতিক। ওহ্‌ম্ সূত্রেও তাই বলে। অতএব এই ভাবে ওহ্‌ম্ সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণীত হল।

(যে রোধকের প্রান্তে ভোল্টমিটার লাগান তার রোধ V/I=R ওহ্‌ম্। সারণি থেকে তা পাওয়া যায়। এ V/I অনুপাতের গড় মান।)

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) চিত্র অনুযায়ী বর্তনী গঠন করা হল। প্লাগ চাবি খোলা থাকল। এই অবস্থায় অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের কাঁটা শূন্য দাগে আছে কি না দেখা হল।

(২) শিক্ষক মহাশয়কে বর্তনী দেখান হল। তিনি সার্কিট দেখে কাজের অনুমতি দিলেন। তখন রিওস্ট্যাটের পুরা রোধ বর্তনীতে রেখে K-তে চাবি বসিয়ে বর্তনী পূর্ণ করা হল। অ্যাম্মিটারের পাঠ I (amp) ও ভোল্টমিটারের পাঠ V (volt) লিখে রাখা হল। আবার K-র চাবি খুলে রাখা হল।

(৩) রিওস্ট্যাটের রোধ একটু কমিয়ে K-তে চাবি বসিয়ে প্রবাহ I বাড়ান হল ; V-ও একটু বাড়ল। দুই পাঠই লেখা হল। আবার চাবি খুলে রাখা হল।

(৪) এইভাবে রিওস্ট্যাটের রোধ ক্রমশ কমিয়ে I ও V-র মোট পাঁচ জোড়া পাঠ নেয়া হল।

(৫) I কমাতে কমাতে আবার V-এর মান নেয়া হল।

(৬) K-র চাবি খুলে রাখা হল। ব্যাটারির প্রান্তের সংযোগও বিচ্ছিন্ন করে রাখা হল।

(৭) I-কে ভুজ (X-axis) ও V-কে কোটি (Y-axis) ধরে একটি গ্রাফ আঁকা হল। গ্রাফটি একটি সরলরেখা হল এবং (O,O) বিন্দু দিয়ে গেল।

সতর্কতা (Precautions)। (১) কাজের সময় অজানা রোধের ভৌত অবস্থার পরিবর্তন ঘটা চলবে না। বেশী প্রবাহ গেলে রোধ উষ্ণ হতে পারে। সবচেয়ে জোরাল প্রবাহেও রোধ উষ্ণ হয়নি তা হাত দিয়ে দেখে নেয়া ভাল।

(২) কেবল প্রত্যেক জোড়া পাঠ নেয়ার আগেই K-তে চাবি বসান উচিত। পাঠ নেয়া হলে চাবি খুলে রাখা দরকার। বিনা প্রয়োজনে প্রবাহ যেতে দেয়া ঠিক নয়।

মন্তব্য। (১) অজানা রোধকের রোধও এই পরীক্ষায় জানা যায়। V/I-র অনুপাত।

(২) অজানা রোধ যাতে উষ্ণ না হয় সে জন্য হয় প্রবাহ কমাতে হবে, নয়ত একটু মোটা তারের রোধক নিতে হবে।

(৩) I এবং V-র পাঠ তিনটি সার্থক সংখ্যা পর্যন্ত নেয়া যেতে পারে। স্কেলের সবচেয়ে ছোট দাগের ভগ্নাংশ চোখের আন্দাজে ঠিক করতে হবে।

(৪) A বা V-র কাঁটা প্রবাহহীন অবস্থায় শূন্য দাগে না থাকলে শুদ্ধি দরকার। অনেক যন্ত্রে একটি স্ক্রু ঘুরিয়ে কাঁটা শূন্য দাগে আনা যায়। এই ভাবে শুদ্ধি করতে

শিক্ষক মহাশয়কে বলবে। অন্যথায় শূন্য ত্রুটি কত এবং তা আপাত পাঠের সঙ্গে যোগ হবে কি বিয়োগ হবে দেখে লিখে রাখবে।

(৫) বর্তনীতে K, Rh, A এবং R শ্রেণীসজ্জায় আছে। এদের যে কোনটি আগে এবং যে কোনটি পরে বসতে পারে ; তাতে কিছু আসে যায় না। কিন্তু V সব ক্ষেত্রেই R-এর সঙ্গে সমান্তরাল সজ্জায় থাকবে।

(৬) $V-I$ বা $I-V$ গ্রাফ সরল রেখা হবে এবং রেখা মূল বিন্দু ($I=0$, $V=0$) দিয়ে যাবে !

মৌখিক প্রশ্ন। (১) ওহম্ সূত্র কি ? ভৌত অবস্থা স্থির রাখা বলতে এখানে কি বোঝায় ? (২) সঞ্চায়ক কোষ কাদের বলে ? লেড্ অ্যাসিড কোষের ভোল্টেজ কত ? (৩) ড্যানিয়েল কোষ নিয়ে এই পরীক্ষা করতে সুবিধা বা অসুবিধা কি হত ? লেক্লাঁসে কোষ ব্যবহার করা যেত কি ? (৪) রিওস্ট্যাটের কাজ কি ? এতে কোন্ অংশের রোধ বর্তনীতে পড়েছে দেখিয়ে দাও। (৫) অ্যাম্মিটারের কাজ কি ? এর গঠন ও ক্রিয়া সম্বন্ধে যা জান বল। এর রোধ বেশী না কম ? (৬) ভোল্টমিটারের কাজ কি ? এর গঠন ও ক্রিয়া সম্বন্ধে যা জান বল। এর রোধ বেশী না কম ? (৭) গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের কি সম্পর্ক ? (৮) যে রোধকের প্রবাহ ও বিভববৈষম্য মেপেছ তার রোধ কত ?

উত্তর ঃ (১) 'তত্ত্ব' দেখ। ভৌত অবস্থা বলতে এখানে প্রধানত উষ্ণতা বোঝায়। (বিসমাথ তারের রোধ চৌম্বক ক্ষেত্রের ওপর নির্ভয় করে। সেলেনিয়ামের রোধ আপতিত আলোর ওপর নির্ভর করে। সকল পরিবাহীর রোধই উষ্ণতার ওপর বেশী মাত্রায় নির্ভর করে। সে জন্য উষ্ণতা স্থির থাকা দরকার।) (২) 7-2 বিভাগের 'গ' অংশ দেখ। সাধারণত 2 ভোল্ট। (৩) ড্যানিয়েল কোষের ভোল্টেজ (ভোল্টে প্রকাশিত e. m. f. কে ভোল্টেজ বলে উল্লেখ করা হয়) 1 ভোল্ট ধরা যায়। এর অভ্যন্তরীণ রোধ 10 ওহ্ম্ ধরলে এ 0·1 অ্যাম্পিয়ারের বেশী প্রবাহ দিতে পারবে না। কাজেই পরীক্ষণে I-র মান কম হবে বলে কম পাল্লার অ্যাম্মিটার ব্যবহার করার দরকার হবে। অজানা রোধক R-এর মান বেশী নিলে এর প্রান্তীয় ভোল্টেজ বেশী হতে পারে। 10 ওহম্ রোধক নিলে চরম প্রবাহ হত $1/(10+10)=0{\cdot}05$ অ্যাম্পিয়ার, ও প্রান্তীয় বিষম বৈষম্য হত 0·05 অ্যাম্পিয়ার$\times$10 ওহম্$=0{\cdot}5$ ভোল্ট। এক্ষেত্রে ভোল্টমিটারও কম পাল্লার নিতে হত। কাজেই ড্যানিয়েল সেল নিলে কম পাল্লার অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটার নিতে হত এবং অজানা রোধকের মান বেশী নেবার দরকার হত। লেক্লাঁসে কোষে ছদনের (polarization-এর) জন্য e. m. f. কমে বলে প্রবাহ স্থির থাকত না, এবং একটানা কাজ করা যেত না। (৪) 7-4 বিভাগের (২) অংশ দেখ। (৫) 7-6 বিভাগ দেখ। (৬) 7-7 বিভাগ দেখ। (৭) গ্যালভ্যানোমিটারের সঙ্গে

সমান্তরাল সজ্জায় অল্প রোধের শাণ্ট যোগ করলে তা অ্যাম্মিটারে পরিণত হয়। অ্যাম্মিটারের রোধ কার্যত শাণ্টের রোধ। গ্যালভ্যানোমিটারের সঙ্গে শ্রেণীসজ্জায় উচ্চ রোধ যোগ করলে তা ভোল্টমিটারে পরিণত হয়। ভোল্টমিটারের রোধ বেশী। (৮) পরীক্ষণে V/I এর গড় মান যা তাই ঐ রোধকের রোধ।

7-10 তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক
(The mechanical equivalent of heat)

উপযুক্ত পরিবেশে যান্ত্রিক কাজ সম্পূর্ণভাবে তাপে পরিণত হতে পারে। W পরিমান কাজ সম্পূর্ণভাবে তাপে পরিণত হয়ে Q পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করলে W/Q অনুপাতকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক (J) বলে। J-র সাংখ্যিক মান নির্ভর করে W ও Q কোন্‌টি কি এককে প্রকাশিত হল তার ওপর। সিজিএস এককে W আর্গে এবং Q ক্যালরিতে প্রকাশিত হবে। এই এককে J = প্রায় $4{\cdot}2\times10^7$ erg/cal। কাজ জুল (joule) এককে মাপলে J = 4·2 joule/cal। কাজ ও তাপের একক যাই নেয়া হোক না কেন J রাশিটি একটি স্থির অনুপাত বোঝায়।

J-র মান বার করতে কাজ এবং তাপ দুই রাশিই মাপতে হয়। বৈদ্যুতিক উপায়ে কাজ মাপবার নির্দেশ থাকায় J-নির্ণয় পরীক্ষণটি আমরা বৈদ্যুতিক পরীক্ষণগুলির মধ্যে রেখেছি।

7-10.1. পরীক্ষণ 27 (Experiment 27)
বৈদ্যুতিক উপায়ে জুল তুল্যাংক J নির্ণয় করা
(To determine J by electrical method)

তত্ত্ব (Theory)। কোন রোধকে প্রবাহ I অ্যাম্পিয়ার, প্রবাহ-কাল t সেকেণ্ড ও রোধকের প্রান্তীয় বিভববৈষম্য V ভোল্ট হলে ঐ সময়ে উৎপন্ন তাপের মান $H = VIt/J$। J একটি নিত্যসংখ্যা; একে জুল তুল্যাংক (বা তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক) বলে। H ক্যালরিতে প্রকাশ করলে J জুল/ক্যালরি এককে প্রকাশ করতে হবে।

উৎপন্ন তাপ H মাপতে ব্যবহৃত ক্যালরিমিটারের জলসম W গ্রাম ও তাতে m গ্রাম জল আছে ধরা যাক। H ক্যালরি তাপে ক্যালরিমিটার ও জলের উষ্ণতাবৃদ্ধি যদি (T_2-T_1)°C হয়, তা হলে

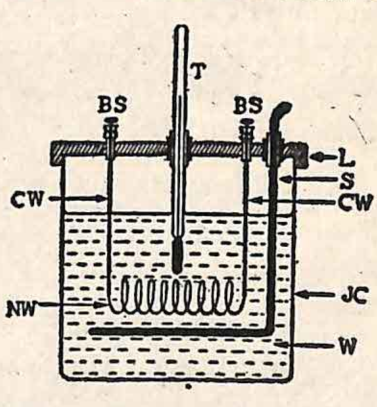
$$H=(W+m)(T_2-T_1) \text{ ক্যালরি}$$

$$\text{অতএব } J=\frac{V\,(\text{ভোল্ট})\times I\,(\text{অ্যাম্পিয়ার})\times t(\text{সেকেণ্ড})}{(W+m)(T_2-T_1)\text{ ক্যালরি}}$$

$$=\frac{VIt}{(W+m)(T_2-T_1)}\ \frac{\text{জুল}}{\text{ক্যালরি}}$$

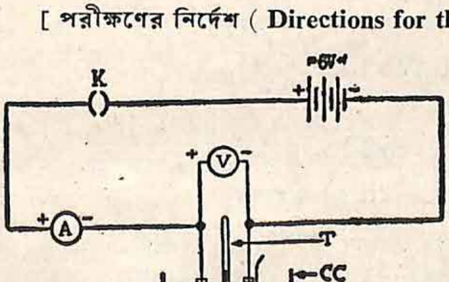
যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। জুলের ক্যালরিমিটার (Joule's calorimeter); থার্মমিটার (0–50°C পাল্লার; ডিগ্রীর পঞ্চমাংশে ক্রমাংকিত); অ্যাম্মিটার (0→1·5 অ্যাম্পিয়ার পাল্লার); ভোল্টমিটার (0→10 ভোল্ট পাল্লার); প্লাগ চাবি ; স্টপক্লক ; সাধারণ তুলা ও বাটখারার বাক্স ; ৮ ভোল্টের সঞ্চায়ক কোষের ব্যাটারি। (মোটর গাড়ির ব্যাটারি হলে ভাল হয়)।

জুল ক্যালরিমিটারের বর্ণনা। এতে (JC ; 7.14 চিত্র) সাধারণ ক্যালরিমিটারের ওপরে একটি কাঠের ঢাকনা (L) থাকে; এতে থার্মমিটার (T) ও স্টারারের (নাড়বার কাঠির ; S) জন্য দুটি গর্ত থাকে। ক্যালরিমিটারের ভিতরে নগ্ন নিক্রোম (বা ম্যাঙ্গানিন) তারের একটি রোধক (NW) মোটা দু গাছা তামার তার (CW) দিয়ে ঝোলান। রোধকের রোধ 4—6 ওহ্ম্। তামার তারের দুই প্রান্ত ঢাকনার ওপরে দুটি বাঁধনী স্ক্রু (BS) সঙ্গে লাগান। ঐ স্ক্রুতে মোটা তামার তার দিয়ে ব্যাটারি বর্তনী যোগ করা হয়। নিক্রোম রোধক ও থার্মমিটার বাল্ব ক্যালরিমিটারের জলে (W) সম্পূর্ণ ডোবান থাকবে।



7.14 চিত্র : জুলের ক্যালরিমিটার

[**পরীক্ষণের নির্দেশ** (**Directions for the experiment**)।



7.15 চিত্র (বৈদ্যুতিক উপায়ে জুল তুল্যাংক নির্ণয়ের সার্কিট চিত্র)

(১) নাড়বার কাঠি সমেত ক্যালরিমিটার ওজন কর।

(২) ক্যালরিমিটারেম তাপনতার ও থার্মমিটারের বাল্ব ডুবে থাকতে পারে এই পরিমান জল নিয়ে ক্যালরিমিটার আবার ওজন কর।

(৩) 7.15 চিত্রে যেমন দেখান আছে ঐ ভাবে বর্তনী গঠন কর। ক্যালরিমিটারের বাইরে তার আধার (CC) থাকবে। আধারে ক্যালরিমিটার ফেল্টের (F) ওপর বসান থাকবে।

(৪) শিক্ষক মহাশয়কে বর্তনী দেখিয়ে তাঁর অনুমতি পেলে কাজ আরম্ভ কর। প্রথমে থার্মমিটার T-র পাঠ T_1 যথাসম্ভব সূক্ষ্মতায় দেখ ও লিখে রাখ। অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারে শূন্য ত্রুটি আছে কিনা দেখ।

(৫) এবার K চাবিতে প্লাগ বসাও ও সঙ্গে সঙ্গে স্টপক্লক চালিয়ে দাও। অ্যাম্মিটারের পাঠ I ও ভোল্টমিটারের পাঠ V লিখে রাখ। জল নেড়ে যাও।

(৬) জলের উষ্ণতা 8—10° না বাড়া পর্যন্ত প্রবাহ চলতে দাও। I ও V-র মান একই আছে কি না লক্ষ্য কর। (না থাকলে শিক্ষককে বল এবং হিসাবে এদের গড়মান ব্যবহার কর।)

(৭) প্লাগ খুলে দিয়ে প্রবাহ বন্ধ কর; সঙ্গে সঙ্গে স্টপক্লকও থামিয়ে দাও। থার্মমিটার ভাল করে দেখে চরম উষ্ণতা কত হল লিখে রাখ। ঘড়ি দেখে প্রবাহ কতক্ষণ চলেছে তাও লেখ।]

(৮) ব্যাটারি সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে রাখ।]

নিরীক্ষা (Observations) :

ক্যালরিমিটার ও কাঠির ওজন = … গ্রাম (m_1)
ক্যালরিমিটার, কাঠি ও জলের ওজন = … গ্রাম (m_2)
ক্যালরিমিটারের জলের আদি উষ্ণতা = … °C (T_1)
প্রবাহ = … অ্যাম্পিয়ার (I)
বিভববৈষম্য = … ভোল্ট (V)
ক্যালরিমিটার ও জলের চরম উষ্ণতা = … °C (T_2)
বিদ্যুৎ-ধারার প্রবাহ কাল = … সেকেণ্ড (t)

হিসাব (Calculations) ও ফল (result) ।

উৎপন্ন তাপ H=VIT / J ক্যালরি = … / J ক্যালরি (ক)
জলের ভর ($=m_2-m_1=m$ গ্রাম)= … গ্রাম
জলে গৃহীত তাপ= $m\,(T_2-T_1)$= … ক্যালরি (খ)
ক্যালরিমিটার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s = … (দেয়া আছে)
ক্যালরিমিটার ও কাঠিতে গৃহীত তাপ=$m_1 s\,(T_2-T_1)$= … ক্যালরি (গ)
($m_1 s$=W=ক্যালরিমিটারের জলসম)
ক্যালরিমিটার থেকে তাপক্ষয় উপেক্ষা করলে (ক) = (খ)+(গ) হবে।

অতএব $$J=\frac{VIt}{(m_1 s+m)(T_2-T_1)} = \ldots \frac{\text{জুল}}{\text{ক্যালরি}}$$

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ঃ

(১) নাড়বার কাঠি সমেত ক্যালরিমিটার ওজন করা হল। তাপন কুণ্ডলী ও থার্মমিটার সম্পূর্ণ ডুবতে পারে, ক্যালরিমিটারে এই পরিমাণ জল নিয়ে কাঠি সমেত আবার ওজন করা হল।

(২) ছবিতে যেমন দেখান আছে ঐ রকম বর্তনী গঠন করে শিক্ষক মহাশয়কে দেখিয়ে তার অনুমতি পেয়ে কাজ আরম্ভ করা হল।

(৩) প্রথমে জলের উষ্ণতা (T_1) দেখা হল। তার পর চাবিতে প্লাগ বসিয়ে সঙ্গে সঙ্গে স্টপক্লক চালিয়ে দেয়া হল। প্রবাহ I এবং ভোল্টেজ V দেখে লিখে রাখা হল।

(৪) জলের উষ্ণতা প্রায় 10 ডিগ্রী বাড়তে দেয়া হল। I ও V-র পাঠ একই আছে কি না দেখা হল। (ঠিক ছিল।)

(৫) চাবির প্লাগ খুলে সঙ্গে সঙ্গে স্টপক্লক বন্ধ করে থার্মমিটারে উষ্ণতা চরম কত পর্যন্ত উঠল তা দেখে লিখে রাখা হল। স্টপক্লক থেকে বিদ্যুৎ-ধারার প্রবাহ কাল দেখা হল।

সতর্কতা (Precautions)।

(১) জল সব সময় নাড়তে হবে। (২) থার্মমিটার বালব যাতে তাপন কুণ্ডলীতে ঠেকে না থাকে তা দেখতে হবে। এরকম হলে থার্মমিটারের উষ্ণতা জলের উষ্ণতার চেয়ে বেশী হবে।

(৩) প্রবাহ দেয়া কালে ব্যাটারির প্রবাহ বা ভোল্টেজ স্থির থাকে কি না দেখতে হবে। না থাকলে তা জানাতে হবে, এবং হিসাবে গড়মান ব্যবহার করতে হবে।

[**মন্তব্য (Remarks)।** এই পরীক্ষণে তাপনকুণ্ডলীর রোধ এবং ব্যবহৃত ব্যাটারির ভোল্টেজ, দুইই একটু বেশী থাকা দরকার। বর্ণিত ব্যবস্থায় রোধ 4-6 ওহ্‌ম্ ও ভোল্টেজ 6V হবে। এতে প্রবাহ হবে প্রায় 1 অ্যাম্পিয়ার। প্রতি সেকেণ্ডে এতে $6V \times 1A = 6$ ওয়াট হারে কাজ হবে, এবং এক সেকেণ্ডে তাপ উৎপন্ন হবে $6/4{\cdot}2=$ প্রায় 1·4 ক্যালরি। ক্যালরিমিটারে মাত্র 100 গ্র্যাম জল থাকলেও 10°C উষ্ণ হতে সময় লাগবে প্রায় 12 মিনিট। সময় যত বেশী যাবে, ক্যালরিমিটার থেকে তাপক্ষয়ও তত বেশী হবে। তাপক্ষয়ের জন্য শুদ্ধি না করায় J-র মান আসলের চেয়ে বেশী হবে।]

মৌখিক প্রশ্ন। (১) তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক কাকে বলে ? এ কিসের ওপর নির্ভর করে ? (২) এখানে কাজ কোথায় হচ্ছে ? কে এই কাজ করছে ? (৩) ভোল্ট,

অ্যাম্পিয়ার ও কুলম্বের সংজ্ঞা দাও। (৪) তোমার তাপনকুণ্ডলীর রোধ কত? ক্যালরিমিটার থেকে তাপক্ষয় হিসাবে নিলে J-র মান লব্ধ মানের চেয়ে বেশী হবে না কম হবে? (৬) তাপক্ষয় কিভাবে হয়?

উত্তর। (১) যান্ত্রিক বা বৈদ্যুতিক শক্তি সম্পূর্ণভাবে তাপে পরিণত করা যায়। W পরিমাণ যান্ত্রিক বা বৈদ্যুতিক শক্তি সম্পূর্ণভাবে তাপে পরিণত হওয়ায় যদি H পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়, তবে $W/H=J$ একটি নিত্যরাশি। এর মান স্থির; একেই তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক বা জুল তুল্যাংক বলে। J নিত্যরাশি; এ অন্য কিছুর ওপর নির্ভর করে না। তবে এর সংখ্যাগত মান W-র এককের ওপর নির্ভর করবে। (২) রোধের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎপ্রবাহ যেতে রোধের বিরুদ্ধে বিদ্যুৎপ্রবাহ (বা বিদ্যুৎ আধান) কাজ করছে। ব্যাটারি কার্যের শক্তি জোগাচ্ছে। (৩) পদার্থ-বিজ্ঞানের পাঠ্যপুস্তক দেখ। (৪) $V/I=R$। (৫) জানা আছে $J=W/H$। আসল H যা, তাপক্ষয় হওয়ায় আমাদের লব্ধমান তার চেয়ে কম। অতএব লব্ধ J আসল J-র চেয়ে বেশী। তাপক্ষয় হিসাবে নিতে পারলে J-র লব্ধমান কমবে। (৬) প্রধানত পরিচলন ও বিকিরণে; কিছুটা পরিবহণে।

7-11. পরীক্ষণ 29 (Experiment 29)

ট্যানজেন্ট ধারামাপীর সাহায্যে বিদ্যুৎ-ধারার মান নির্ণয় করা

(To measure a current with a tangent galvanometer)

তত্ত্ব (Theory)। ট্যানজেন্ট ধারামাপীর কুণ্ডলীতে প্রবহমান বিদ্যুৎ-ধারার জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা H ওয়ারস্টেড, এবং ঐ বিন্দুতে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $H_\circ$ ওয়ারস্টেড হলে, ধারামাপীর চুম্বক কাঁটার বিক্ষেপ যদি θ হয়, তবে

$H=H_\circ \tan\theta$ হবে। নির্দিষ্ট যে কোন স্থানে $H_\circ$-র মান স্থির। অতএব

$$H\propto\tan\theta$$

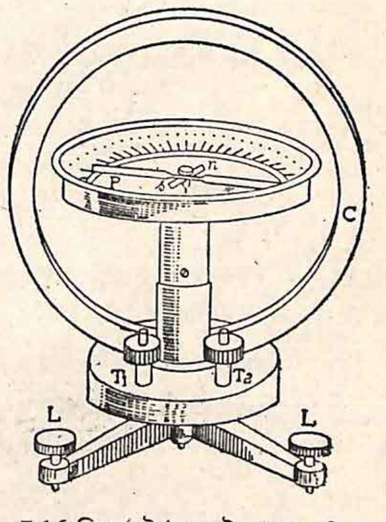
অর্থাৎ H $\tan\theta$-র সমানুপাতিক। আবার, H কুণ্ডলীতে প্রবহমান ধারা I অ্যাম্পিয়ারের সমানুপাতিক। অতএব $I\propto\tan\theta$, অর্থাৎ I ও $\tan\theta$ সমানুপাতিক হবে। এরকম হলে লেখা যায়

$$I=K\tan\theta;$$

K একটি নির্দিষ্টমান রাশি; একে ধারামাপীর 'পরিবর্তন গুণাংক' (Reduction factor) বলে। কোন স্থানে ধারামাপীর K জানা থাকলে কেবল এর চুম্বক কাঁটার বিক্ষেপ θ দেখে কুণ্ডলীতে প্রবহমান বিদ্যুৎ-ধারার মান জানা যায়।

যন্ত্রাদি (Apparatus)। ট্যানজেণ্ট ধারামাপী ; সঞ্চায়ক কোষ ; রিওস্ট্যাট (5 ওহ্‌ম্, 2 অ্যাম্পিয়ার) ; প্লাগ চাবি ; অ্যাম্মিটার (0→2 অ্যাম্পিয়ার) ; ধারা ওল্টাবার চাবি ; প্রায় 1 মিটার, নরম, জোড়াতার (Flexible twin cord)। সংযোগী তার ; স্পিরিট লেভ্‌ল্।

[**ট্যানজেণ্ট ধারামাপীর বর্ণনা।** এ (7.16 চিত্র) বিদ্যুৎ-ধারা মাপবার একটি যন্ত্র। একই ব্যাসের নির্দিষ্ট সংখ্যক খুব ঘনসন্নিবিষ্ট অন্তরিত তারের কুণ্ডলী (C) দিয়ে বিদ্যুৎধারা যায়। কুণ্ডলীতল ঠিক খাড়া (vertical) থাকে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ছোট চুম্বক কাঁটা (ns) থাকে। চুম্বক কাঁটার ঠিক আড়াআড়ি লম্বা একটি অ্যালুমিনিয়াম কাঁটা (P) সূচীমুখের (Pivot-এর) ওপর রাখা। চুম্বক কাঁটা ঘুরলে অ্যালুমিনিয়াম কাঁটা অনুভূমিক একটি বৃত্ত স্কেলের ওপর দিয়ে সরে। এই স্কেল ডিগ্রীতে দাগ কাটা। কুণ্ডলী খাড়া অক্ষে ঘোরান যায়। অক্ষ ঠিক খাড়া করার জন্য যন্ত্রে তিনটি লেভ্‌লিং স্ক্রু (L) লাগান। স্ক্রু ঘুরিয়ে স্পিরিট লেভ্‌লের সাহায্যে অক্ষ খাড়া করা যায়। কুণ্ডলীতল চৌম্বক মধ্যতলে (magnetic meridian-এ) রাখতে হয়। বর্তনীতে কুণ্ডলী যোগ করার জন্য দুটি প্রান্ত T_1, T_2 থাকে।



7.16 চিত্র (ট্যানজেণ্ট ধারামাপী)

স্পিরিট লেভ্‌লের ব্যবহার। স্পিরিট লেভ্‌লের সাহায্যে কুণ্ডলীর ঘূর্ণন অক্ষ খাড়া করতে হলে প্রথমে যন্ত্রের পাটাতনের ওপর স্পিরিট লেভ্‌ল্‌কে দুটি লেভ্‌লিং স্ক্রু যোগকারী রেখার সমান্তরালে রাখ। দুহাতে দু আঙুলে ঘোরাবার স্ক্রু দুটি ধরে এদের উল্টো পাকে ঘোরাও (দুই বুড়ো আঙুলই একই সময়ে ভিতরের দিকে, বা বাইরের দিকে যাবে)। এইভাবে স্পিরিট লেভ্‌লের বুদ্বুদটি ঠিক মাঝখানে আন। এবার স্পিরিট লেভ্‌ল্ আগের অবস্থানের অভিলম্বে রেখে কেবল তৃতীয় লেভ্‌লিং স্ক্রু ঘুরিয়ে বুদ্বুদ মাঝখানে আন। স্পিরিট লেভ্‌ল্ প্রথম অবস্থানে এনে একবার মিলিয়া দেখ।

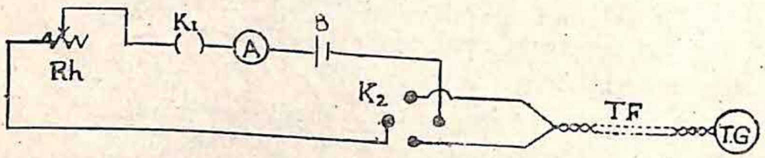
একটু অভ্যাস করলে দেখবে এতে ২।৩ মিনিটের বেশী সময় লাগে না।]

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the Experiment**) ঃ

(১) 7.17 চিত্রে যেমন দেখান আছে ঐ ভাবে বর্তনী গঠন কর। জোড়া নরম তার TF-এর সাহায্যে ট্যানজেন্ট ধারামাপী বাকী বর্তনীর প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে যথাসম্ভব দূরে রাখ।

(২) স্পিরিট লেভ্লের সাহায্যে ধারামাপী লেভ্ল্ কর।

(৩) ধারামাপীর কুণ্ডলী ঘুরিয়ে কুণ্ডলীতল চৌম্বক মধ্যতলে আন। বৃত্তস্কেল ঠিকমত বসান থাকলে অ্যালুমিনিয়াম কাঁটার এক মাথা স্কেলের 0° দাগে আসলেই



7.17 চিত্র (ট্যানজেন্ট ধারামাপী ব্যবহারের বর্তনী)

তা হবে। (চুম্বক কাঁটা কুণ্ডলী তলের সমান্তরালে আছে কিনা দেখলে ব্যবস্থা ঠিক হল কিনা অনেকটা বুঝতে পারবে।)

(৪) শিক্ষককে বর্তনী দেখিয়ে তাঁর অনুমতি পেলে কাজ আরম্ভ কর।

(৫) K_1 চাবিতে প্লাগ বসিয়ে Rh রিওস্ট্যাট নিয়ন্ত্রণ করে ধারামাপীর বিক্ষেপ প্রায় 30° কর। অ্যালুমিনিয়াম কাঁটার দু প্রান্তের পাঠ ($\theta_1°$, $\theta_2°$) নাও।

(৬) ধারা ওল্টাবার চাবি [7-3 (৩) বিভাগ দেখে নাও] K_2-র সাহায্যে ধারামাপীতে প্রবাহের দিক্ ওল্টাও এবং কাঁটার পাঠ ($\theta_3°$ ও $\theta_4°$) আবার নাও। এই সময়ে প্রবাহ (I) কত অ্যাম্পিয়ার লিখে রাখ।

(৭) Rh-এর মান বদলিয়ে বিক্ষেপ 30°, 40°, 45°, 50° ও 60° কর। প্রত্যেকবার ধারার দিক উল্‌টিয়ে কাঁটার চারটি করে পাঠ নাও এবং সেই সময়ের ধারার মান I অ্যাম্মিটার থেকে দেখে লিখে রাখ।

(৮) বর্তনী থেকে অ্যাম্মিটার খুলে রাখ। শিক্ষক মহাশয়কে ডেকে তাঁকে নির্ণেয় ধারার মান ঠিক করে দিতে বল। (তিনি সম্ভবত Rh ইচ্ছামত বদলিয়ে একটা মান ঠিক করে দেবেন।)

(৯) অজানা ধারায় কাঁটার পাঠ $\theta_1°$, $\theta_2°$ এবং ধারার দিক্ উল্‌টিয়ে কাঁটার পাঠ $\theta_3°$, $\theta_4°$ দেখে লিখে রাখ। (এ সময়ে বর্তনীতে অ্যাম্মিটার থাকবে না।)

(১০) সব চাবি থেকে প্লাগগুলি খুলে রাখ। কোষও খুলে রাখ।]

নিরীক্ষা (**Observations**) ও হিসাব (**Calculations**) ।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রবাহ I amp	কাঁটার বিক্ষেপ যখন প্রবাহ একদিকে		কাঁটার বিক্ষেপ যখন প্রবাহ বিপরীতদিকে		গড় $\theta°$	$\tan\theta$	$\frac{I}{\tan\theta}$=K (amp)	Mean K amp
		$\theta_1°$	$\theta_2°$	$\theta_3°$	$\theta_4°$				
1 2 ⋮ ইত্যাদি									
	অজানা							অজানা $I=K\tan\theta$	

(K-এর মান দশমিকে লিখবে।)

ফল (Result) :

অজানা প্রবাহে θ-র গড় মান···° ও $\tan\theta=\cdots$ ।

অতএব অজানা প্রবাহ $I=K\tan\theta=\cdots\times\cdots=\cdots$অ্যাম্পিয়ার।

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) ।

(১) ছবিতে যেমন দেখান আছে ঐ রকম করে বর্তনী গঠন করা হল। ট্যানজেণ্ট ধারামাপী বর্তনীর অন্য অংশ থেকে একটু দূরে থাকল।

(২) স্পিরিট লেভ্‌লের সাহায্যে ধারামাপী লেভ্‌ল্ করা হল।

(৩) ধারামাপীর কুণ্ডলী ঘুরিয়ে এর কাঁটার এক প্রান্ত স্কেলের 0° দাগের সঙ্গে মিলান হল। এতে কুণ্ডলীতল চৌম্বক মধ্যতলে আসে।

(৪) শিক্ষক মহাশয়কে বর্তনী দেখিয়ে তাঁর অনুমতি পেয়ে K_1 চাবি বন্ধ করে রিওস্ট্যাট নিয়ন্ত্রণ করে ধারামাপীর বিক্ষেপ প্রায় 30° করা হল। কাঁটার উভয় প্রান্তের পাঠ $\theta_1°$, $\theta_2°$ নেয়া হল।

(৫) ধারা ওল্টাবার চাবি K_2-র সাহায্যে ধারামাপীতে প্রবাহ উল্‌টিয়ে কাঁটার দুই প্রান্তের পাঠ $\theta_3°$, $\theta_4°$ দেখা হল। অ্যাম্মিটার দেখে এই সময়ের প্রবাহ I লিখে রাখা হল।

(৬) Rh-এর মান বদলিয়ে বিক্ষেপ 30°, 40°, 45°, 50°, 60° করে প্রত্যেক বার প্রবাহ উল্‌টিয়ে কাঁটার চারটি করে পাঠ নেয়া হল। প্রত্যেকবার অ্যাম্মিটার দেখে প্রবাহও লিখে রাখা হল।

(৭) শিক্ষক মহাশয়কে ডেকে যে প্রবাহ মাপতে হবে তা ঠিক করে দিতে বলা হল। এই প্রবাহে θ_1, θ_2, θ_3, θ_4 বিক্ষেপ দেখা হল। এ সময় বর্তনীতে অ্যাম্মিটার ছিল না; তা সরিয়ে নেয়া হয়েছিল।

(৮) সব প্লাগ ও ক্যেষের সংযোগ খুলে রাখা হল।

সতর্কতা (Precaution)। ধারামাপীর কাছাকাছি কোন চৌম্বক পদার্থ বা জোরাল প্রবাহ থাকবে না। এতে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ H_o-র মান বদলায়।

[**মন্তব্য (Remarks)**। (১) ধারামাপীর কুণ্ডলীতল ঠিক চৌম্বক মধ্যতলে না থাকলে প্রবাহের দিক ওল্টালে θ_3, θ_4 এবং θ_1, θ_2-র মানে বেশী প্রভেদ দেখা যাবে। স্কেলের 90°-90° রেখা ঠিক কুণ্ডলীতলে না থাকলেও এরকম হয়। অতএব দুই জোড়া θ-র মানে দু-এক ডিগ্রীর বেশী প্রভেদ হলে শিক্ষক মহাশয়কে দেখিও।

(২) গণিত প্রয়োগে পাওয়া যায় ধারামাপীর 'পরিবর্তন গুণাংক' $K=5rH_o/\pi n$ অ্যাম্পিয়ার। এখানে r (cm) কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ, n কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা ও H_o ওয়ারস্টেড পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ। H_o বিভিন্ন স্থানে আলাদা হলে K-র মানও বদলাবে।

(৩) বিক্ষেপ 45° হলে প্রবাহ মাপনে ত্রুটি সবচেয়ে কম হয়।]

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) ট্যানজেন্ট ধারামাপী দিয়ে কি কাজ করা যায়? এর ক্রিয়া সংক্ষেপে বল। (২) পরিবর্তন গুণাংক (Reduction factor) কাকে বলে? নির্দিষ্ট ধারামাপীতে এর মান কি সব জায়গায় একই? K-র মান কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ ও পাকসংখ্যার ওপর কিভাবে নির্ভর করে? (৩) এই ধারামাপী দিয়ে তুমি কত থেকে কত পর্যন্ত প্রবাহ মাপতে পার? (৪) ধারা ওল্টাবার চাবি K_2-র ক্রিয়া বোঝাও।

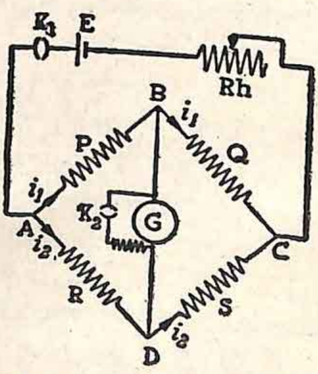
উত্তর ঃ (১) প্রবাহ মাপা। 'তত্ত্ব' দেখ। (২) 'তত্ত্ব' এবং 'মন্তব্যে'র (২) অংশ দেখ। (৩) তত্ত্বীয়ভাবে (theoritically), যে কোন প্রবাহের মান এর সাহায্যে পাওয়া যেতে পারে, কারণ tan θ-র মান 0 থেকে ∞ পর্যন্ত। কার্যত, যে প্রবাহে বিক্ষেপ 45°-র কাছাকাছি হয় (ধরা যাক 30° থেকে 60°) সে সব মানের প্রবাহ এতে মাপা সুবিধার। θ বেশী ছোট বা বেশী বড় হলে মাপনে অনেক ত্রুটি (error) হতে পারে। তাছাড়া জোরাল প্রবাহে কুণ্ডলীর ক্ষতি হতে পারে, কারণ তার বেশী উষ্ণ হয়। (৪) 7-3 বিভাগের (৩) অংশ দেখ।

কোণের ট্যানজেণ্টের সারণি

কোন $\theta°$	$\tan\theta$	কোন $\theta°$	$\tan\theta$	কোন $\theta°$	$\tan\theta$
28	0·532	40	0·839	51	1·23
29	0·554	40·5	0·854	51·5	1·26
30	0·557	41	0·869	52	1·28
30·5	0·589	41·5	0·885	52·5	1·30
31	0·601	42	0·900	53	1·33
31·5	0·613	42·5	0·961	53·5	1·35
32	0·625	43	0·933	54	1·38
32·5	0·637	43·5	0·949	54·5	1·40
33	0·649	44	0·966	55	1·43
33·5	0·662	44·5	0·983	55·5	1·46
34	0·675	45	1·00	56	1·48
34·5	0·687	45·5	1·02	56·5	1·51
35	0·700	46	1·04	57	1·54
35 5	0·713	46·5	1·05	57·5	1·57
36	0·727	47	1·07	58	1·60
36·5	0·740	47·5	1·09	58·5	1·63
37	0·754	48	1·11	59	1·66
37·5	0·767	48·5	1·13	59·5	1·70
38	0·781	49	1·15	60	1·73
38·5	0·795	49·5	1·17	60·5	1·77
39	0·810	50	1·19	61	1·80
39·5	0·824	50·5	1·21	62	1·88

7-12. হুইটস্টোন জালের তত্ত্ব ঃ মিটার ব্রিজ ও পি. ও. বক্স (Principle of the Wheatstone network ঃ the meter bridge and the P. O. Box)

হুইটস্টোন নেটওয়ার্ক বা জালে চারটি রোধ P, Q, R, S 7.18 চিত্রের মত সাজান থাকে। রোধগুলির সংযোগে গঠিত চৌকোনার একজোড়া বিপরীত কোনা A, C-র সঙ্গে ব্যাটারি E ও অন্য জোড়া বিপরীত কোনা B, D-র সঙ্গে শাণ্ট যুক্ত ধারামাপী G লাগান থাকে।



7.18 চিত্র (ব্যাটারী ও ধারামাপী সংযুক্ত হুইটস্টোন জাল)

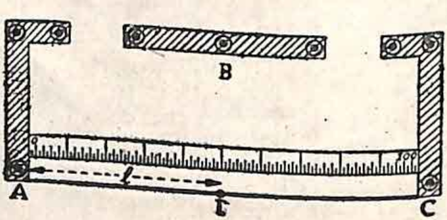
সহজেই দেখান যায় যে P ও Q রোধের অনুপাত P/Q, R ও S রোধের অনুপাত R/S-এর সমান হলে, অর্থাৎ

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \qquad (7\text{-}12.1.)$$

হলে, ধারামাপী দিয়ে কোন প্রবাহ যাবে না। ধারামাপী A ও C-তে এবং ব্যাটারি B ও D-তে যোগ করলেও (অর্থাৎ ব্যাটারি ও ধারামাপীর সংযোগ বদলাবদলি করলে), ওপরের অনুপাত দুটি যদি সমান থাকে তবে ধারামাপী দিয়ে প্রবাহ যাবে না।

দুটি বৈদ্যুতিক মাপন যন্ত্রের ক্রিয়া হুইটস্টোন জলের উপরোক্ত তত্ত্বের ওপর নির্ভর করে। এদের একটি হল **মিটার ব্রিজ (Metre bridge)**; অন্যটির নাম **পোস্ট অফিস বক্স** বা সংক্ষেপে **পি. ও. বক্স (Post Office Box বা P. O. Box)**। পোস্ট অফিসের টেলিগ্রাফ তারের রোধ মাপবার জন্য যন্ত্রটি উদ্ভাবিত হয়েছিল বলে এর এরকম নামকরণ হয়েছে। এই দুই যন্ত্র দিয়েই জানা রোধের সঙ্গে তুলনা করে অজানা রোধ মাপা হয়।

7-12.1. মিটার ব্রিজের বর্ণনা। মিটার ব্রিজে এক মিটার লম্বা এক গাছা সুষম তার (7·19 চিত্রের AC) মিটার স্কেলের পাশে টান করা থাকে। এর দু' প্রান্ত A এবং C দুখানা L আকারের তামা বা পিতলের পাতে জোড়া। দুই L পাতের মাঝখানে তৃতীয় একখানা সোজা ধাতুপাত থাকে। পাতগুলির রোধ সম্পূর্ণ উপেক্ষণীয়। প্রত্যেক পাতের প্রান্তে এবং সোজা পাতের মাঝখানেও একটি করে বাঁধনী স্ক্রু থাকে। এগুলি দিয়ে ব্যাটারী, ধারামাপী এবং জানা ও অজানা রোধ মিটার ব্রিজের সঙ্গে যোগ করা হয়। তার, স্কেল ও ধাতুপাতগুলি একখানা কাঠের পাটাতনের ওপর লাগান থাকে। তারের সমান্তরালে কাঠে একটি খাঁজ কাটা। ক্ষুরধার (knife edge) বিশিষ্ট একটি সচল সংযোজক (Sliding contact বা Slider) ঐ খাঁজ বরাবর সরিয়ে ধারামাপীর সঙ্গে তারের যে কোন জায়গার ধাতব সংযোগ ঘটান যায়। সংযোজকের ওপরে একটি দাগ দেয়া থাকে; এ মিটার স্কেলের ওপর দিয়ে সরে ও সংযোগ কোথায় ঘটল তা স্কেলে দেখায়।

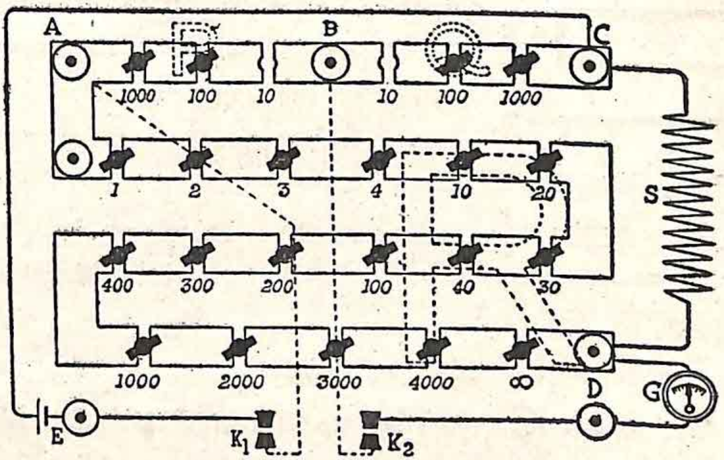


7.19 চিত্র (মিটার ব্রিজ)

ক্রিয়া। ব্রিজের বাঁ ও ডান ফাঁকে যথাক্রমে অজানা রোধ X এবং জানা রোধ R আছে ধরা যাক। শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দু D-র অবস্থান যেন মিটার স্কেলের বাঁ প্রান্ত

থেকে l cm দূরে। এ ক্ষেত্রে তারের l অংশকে P ও 100-l অংশকে Q ধরা যায়। তার সুষম বলে P/Q অনুপাত$=l/(100-l)$। এ X/R অনুপাতের সমান। অতএব $X=Rl/(100-l)$।

7-12.2 পি. ও. বক্সের বর্ণনা। পি. ও. বক্স যন্ত্রটি গঠনে একটু জটিল। এর বাস্তব ও চিত্রণে (diagram-এ) অনেক প্রভেদ হবে। প্রথমে আমরা বাস্তব রূপ বোঝাবার চেষ্টা করব।



7.20 চিত্র (পি. ও. বক্সের গঠন)

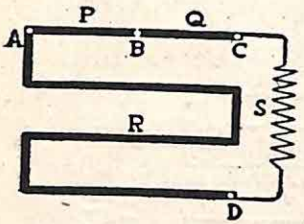
বাস্তব রূপ। এতে বিভিন্ন জানা রোধের কতকগুলি কুণ্ডলী দিয়ে হুইটস্টোন জালের P, Q ও R রোধ গঠন করা হয় (7.20 চিত্র)। আজানা রোধ হবে চতুর্থ রোধ S। রোধের বাক্সে (Resistance Box-এ ; 7-4 বিভাগের (৩) অংশ দেখ) রোধগুলি যে ভাবে যুক্ত থাকে, এগুলিও সেই রকম।

7.20 চিত্রে AB অংশ P, এবং BC অংশ Q। এই দুই অংশকে **অনুপাত বাহু** (**Ratio arms**) বলে। এর প্রত্যেকটিতে সাধারণত 10, 100 ও 1000 ওহ্‌মের তিনটি করে রোধ থাকে। (এতে P/Q অনুপাত 100, 10, 1, 1/10 বা 1/100 করা যায়।) তৃতীয় বাহু R কে সাধারণত **রিওস্ট্যাট বাহু** (**Rheostat arm**) বলে। এতে বেশীর ভাগ যন্ত্রে 1 থেকে 4000 ওহ্‌ম্ পর্যন্ত বিভিন্ন রোধের কুণ্ডলী থাকে। এগুলির সাহায্যে R বাহুতে মোট রোধের মান 1 থেকে 11,110 পর্যন্ত যা কিছু করা যায়।

পি. ও. বক্সে দুটি টোকা দেয়ার চাবি (ট্যাপিং কী ; 7-3 বিভাগের (২) অংশ দেখ) K_1 ও K_2 থাকে। এর একটি ব্যাটারির সঙ্গে ও অন্যটি ধারামাপীর সঙ্গে যোগ করা। K_1 চাবির একদিকে ব্যাটারি E-তে ও অন্যদিকে P এবং R বাহুর

সংযোগস্থল A-তে লাগান (ছবিতে ভাঙা রেখায় তা দেখান আছে)। K_2 চাবির একদিক ধারামাপী G-তে ও অন্যদিকে P ও Q বাহুর সংযোগস্থল B-তে লাগান।

অধিকাংশ যন্ত্রে ব্যাটারি যোগ করার দুই প্রান্তে B, B এবং ধারামাপী যোগ করার দুই প্রান্তে G, G লেখা থাকে। এ না থাকলে প্রথম শিক্ষার্থীর পক্ষে ঠিকমত সংযোগ করা কঠিন হয় এবং ভুল হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। অজানা রোধ যোগ করার দুই প্রান্তে L, L বা X, X লেখা থাকতে পারে। এরকম থাকলে ছাত্রের পক্ষে শুদ্ধভাবে বর্তনী গঠন সহজ হয়। আমরা ধরে নেব এগুলি দেয়া আছে। (প্রথম শিক্ষার্থীদের এগুলি দেখিয়ে বা দাগিয়ে দেয়া ভাল।)



7.21 চিত্র (পি. ও. বক্সের চিত্রণ রূপ বা Diagram)

চিত্রণের রূপ। পি. ও. বক্স এঁকে দেখাতে হলে সাধারণত একে 7.21 চিত্রের মত করা হয়। P, Q, R বাহু এবং S রোধ 7.20 চিত্রের সঙ্গে একার্থক।

7-13. পরীক্ষণ 30 (Experiment 30)

মিটার ব্রিজের সাহায্যে অজানা রোধ নির্ণয় করা

(To measure an unknown resistance with a metre bridge)

তত্ত্ব (Theory) : মিটার ব্রিজে হুইটস্টোন জালের তত্ত্বের প্রয়োগ হয়। ধারামাপী দিয়ে কোন প্রবাহ না গেলে লেখা যায়

$$\frac{\text{বাঁদিকের ফাঁকে রোধ}}{\text{ডান দিকের ফাঁকে রোধ}} = \frac{\text{মিটার ব্রিজের বাঁ প্রান্ত থেকে শূন্য বিক্ষেপ বিন্দুর দূরত্ব}}{\text{মিটার ব্রিজের ডানপ্রান্ত থেকে শূন্য বিক্ষেপ বিন্দুর দূরত্ব}}$$

ব্রিজের বাঁদিকের ফাঁকে রোধ R, ডানদিকের ফাঁকে রোধ X এবং মিটার স্কেলের বাঁপ্রান্ত থেকে শূন্যবিক্ষেপ বিন্দুর দূরত্ব l cm হলে,

$$\frac{R}{X} = \frac{l}{100 - l}$$

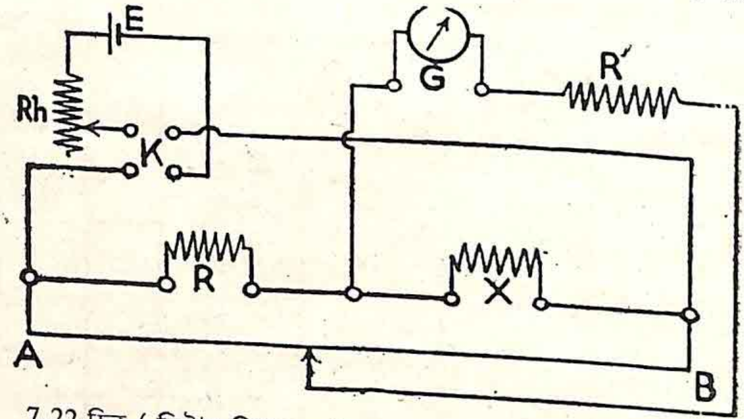
হবে। R ও X-র একটি জানা ও অন্যটি অজানা। অতএব l বার করে অজানা রোধের মান নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রাদি (Apparatus) : মিটার ব্রিজ (স্লাইডার সমেত); অজানা রোধ (প্রায় 5 ওহ্মের মত হলে ভাল); জানা রোধ (1→10 ওহ্ম রোধের বাক্স হলে ভাল হয়); লেক্ল্যাঁসে বা ড্যানিয়েল সেল ; ধারা ওল্টাবার চাবি ; সুবেদী ধারামাপী, সংযোগী তার ; পরিবর্তনীয় রোধ ; উচ্চ মানের রোধ বাক্স।

(মিটার ব্রিজের বর্ণনা 7-21.1 বিভাগে দেয়া আছে।)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**) ।

(১) 7.22 চিত্রের মত বর্তনী গঠন কর। R রোধ বাক্সে দেয়া রোধ বোঝায়। R কে প্রথমে 5 ওহ্‌ম্ কর। X ও R-র সংযোগী তারগুলি খাট ও মোটা রেখো।



7.22 চিত্র (মিটার ব্রিজের সাহায্যে রোধ মাপার বর্তনী চিত্র ।)

R′ রোধ বাক্স থেকে 100 ওহ্‌ম্ মত রোধ তুলে রাখ। এতে ধারামাপী দিয়ে প্রবাহ ধারা কম যাবে ও ধারামাপী পুড়ে যাবার ভয় থাকবে না। Rh রোধও বেশী দিও। তারের মধ্যে দিয়ে প্রবাহধারা কম যাবে ও তার গরম হবে না। শিক্ষককে বর্তনী দেখিয়ে অনুমতি পেলে K-তে বিপরীত দুই দিকে চাবি বসাও।

(২) তারের মাঝামাঝি (50 cm-এ) স্লাইডার ছুঁয়ে ধারামাপীর বিক্ষেপ দেখ। রোধ বাক্সের রোধ R বাড়িয়ে কমিয়ে বিক্ষেপ যত কমাতে পার কমাও। এবার স্লাইডার সরিয়ে বিক্ষেপ শূন্যে পরিণত কর।

(৩) R′ রোধ বাক্সে রোধ শূন্য কর এবং Rh-কে খুব কম কর। এতে ধারামাপী সুবেদী হবে। স্লাইডার সরিয়ে শূন্য বিক্ষেপ বিন্দুর সঠিক অবস্থান বার কর ও তার পাঠ নাও।

(৪) K-তে দুই চাবির অবস্থান বদল করে বিদ্যুৎ-ধারার মুখ ওল্টাও এবং শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দুর অবস্থান আবার নির্ণয় কর।

(৫) রোধ বাক্স R-এ রোধের মান কমিয়ে বাড়িয়ে শূন্য বিন্দুর অবস্থান আরও অন্তত দুবার বার কর। প্রত্যেক রোধের জন্য বিদ্যুৎ-ধারার মুখ একদিকে ও উল্টিয়ে বিপরীত দিকে করে পাঠ নেবে। শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দু 45 থেকে 55 cm-এর মধ্যে নেবার চেষ্টা করবে। কারণ তারের মাঝামাঝি শূন্য বিক্ষেপ হলে ব্রিজ খুব সুবেদী হয়।

(৬) R ও X-এর স্থান বদলাবদলি কর। R-এর আগের অবস্থানে যে যে রোধ নিয়ে শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দু নির্ণয় করেছিলে, ঠিক একই মানের রোধ নিয়ে একই

পদ্ধতিতে আবার শূন্য বিক্ষেপ বিন্দুর অবস্থান দুই মুখী বিদ্যুৎ-ধারার জন্য বার কর।

(৭) K চাবি খুলে রাখ। কোষের সংযোগ ছিন্ন কর।]

নিরীক্ষা (**Observations**)।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বাঁ ফাঁকে রোধ (ওহ্‌ম্)	ডান ফাঁকে রোধ (ওহ্‌ম্)	শূন্য বিক্ষেপ বিন্দুর অবস্থান l cm যখন প্রবাহ		গড় l cm	অজানা রোধ X-এর মান ওহ্‌ম্	গড় X ওহ্‌ম্
			একদিকে	বিপরীত দিকে			
1. (a)	R_1	X					
(b)	X	R_1					
2. (a)	R_2	X					
(b)	X	R_2					
3. (a)	R_3	X					
(b)	X	R_3					

হিসাব (**Calculations**):

$$\frac{\text{বাঁ ফাঁকে রোধ}}{\text{ডান ফাঁকে রোধ}}=\frac{l}{100-l}$$ এই সূত্র থেকে পর্যবেক্ষণ (a)-এর জন্য

(1) $\frac{R}{X}=\frac{l}{100-l}=\cdots$ ইত্যাদি

এবং পর্যবেক্ষণ (b)-এর জন্য (1) $\frac{X}{R}=\frac{l}{100-l}=\cdots$ ইত্যাদি

অতএব গড় রোধ = ··· ওহ্‌ম্

ফল (**Result**)।

অজানা রোধের নির্ণেয় মান=···ওহ্‌ম্

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (**Method followed**)

(১) চিত্রে (7.22-তে) যেমন দেখান হয়েছে ঠিক ঐ রকম বর্তনী গঠন করা হল। রোধ বাক্স R-এ 5 ওহ্‌ম্ রোধ দেয়া হল। অন্য প্লাগগুলি ভাল করে বন্ধ করে R′ রোধ বাক্স থেকে 100 ওহ্‌ম্ ও Rh-কে বেশী করা হল।

(২) K-এর দুই বিপরীত ফাঁকে প্লাগ বসিয়ে তারের মাঝামাঝি স্লাইডার ছুঁইয়ে ধারামাপীর বিক্ষেপ দেখা হল। রোধ R কমিয়ে বাড়িয়ে ও স্লাইডার সরিয়ে বিক্ষেপ শূন্য বিন্দু বার করা হল।

(৩) R′ রোধ শূন্য করে ও Rh-কে কমিয়ে ব্রিজ খুব সুবেদী করে বিক্ষেপ-শূন্য বিন্দুর সঠিক অবস্থান নির্ণয় করা হল। K-তে চাবির অবস্থান বদল করে প্রবাহ বিপরীতমুখী করে বিক্ষেপ-শূন্য বিন্দু আবার নির্ণয় করা হল।

(৪) রোধ বাক্স R থেকে রোধ বাড়িয়ে ও কমিয়ে একই পদ্ধতিতে আরও দুবার শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দু নির্ণয় করা হল।

(৫) R ও X-এর স্থান বদল করে একই রোধ R-এর জন্য শূন্য বিক্ষেপ বিন্দু বার করা হল।

(৬) X-এর মানগুলি তত্ত্বের সূত্র সাহায্যে নির্ণয় করে গড় নেয়া হল।

সতর্কতা (Precautions)।

(১) রোধ বাক্সের যে প্লাগ খোলা হবে সেটি ছাড়া অন্য প্লাগগুলি বেশ আঁট করা থাকবে। (২) R ও X ব্রিজের সঙ্গে খাট, মোটা তার দিয়ে যোগ করতে হবে। (৩) শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দু তারের 45-55 cm-এর মধ্যে থাকা বাঞ্ছনীয়। বেশী পাশের দিকে হলে কাজে ত্রুটি বেশী হবে। (৪) শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দু খুঁজবার ও পাঠ নেবার সময় ছাড়া স্লাইডার তারের সংস্পর্শে রাখা উচিত নয়। (৫) তারের সংযোগগুলি ভালভাবে আঁট থাকবে।

মৌখিক প্রশ্ন। (১) হুইটস্টোন জাল কাকে বলে? (২) হুইটস্টোন জালের সঙ্গে মিটার ব্রিজের সাদৃশ্য দেখাও। (৩) মিটার ব্রিজের সাহায্যে অজানা রোধ কিভাবে মাপা যায়? (৪) জানা ও অজানা রোধ বদলাবদলি করে পাঠ নিচ্ছো কেন? (৫) শূন্য-বিক্ষেপ বিন্দুর অবস্থান তারে প্রবাহের মানের ওপর নির্ভর করে কি? (৬) রোধে সংযোগের জন্য খাট, মোটা তার ব্যবহার কর কেন?

উত্তর। (১) 7-12 বিভাগ দেখ। (2) 7-12.1 বিভাগের 'ক্রিয়া' অংশ দেখ। (৩) এই পরীক্ষণের 'তত্ত্ব' দেখ। (৪) পরীক্ষণের ত্রুটি কমাবার জন্য। (৫) করে না। (৬) সংযোগী তারের রোধ জানা ও অজানা রোধের সঙ্গে যোগ হয় বলে এদের উপেক্ষণীয় রাখা দরকার।

7-14. পরীক্ষণ 31 (Experiment 31)

পি. ও. বক্সের সাহায্যে অজানা রোধ মাপা

(To measure an unknown resistance with a P. O. Box)

তত্ত্ব (Theory)। P, Q পি, ও. বক্সের (7.23 চিত্রে) দুই অনুপাত বাহু (Ratio arms) এবং R রিওস্ট্যাট বাহু (Rheostat arm) বোঝায়। P-তে

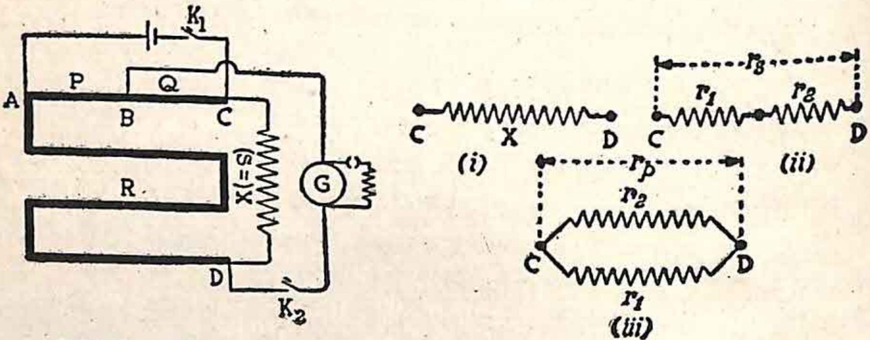
রোধ R_1, Q-তে রোধ R_2, R-এ রোধ R_3 এবং অজানা রোধক S-এর রোধ যদি X হয়, তাহলে, হুইটস্টোন ব্রিজের তত্ত্ব অনুসারে,

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{R_3}{X}$$

হলে ধারামাপী G দিয়ে কোন প্রবাহ যাবে না। এরকম হলে X-এর মান হবে

$$X=\frac{R_3}{R_1/R_2}=\frac{R_2}{R_1}R_3$$

R_2/R_1 অনুপাত জানা থাকলে শূন্য-বিক্ষেপ অবস্থায় রিওস্ট্যাট বাহুর রোধ R_3-কে এই অনুপাত দিয়ে গুণ করলে অজানা রোধ জানা যাবে।



7.23 চিত্র (পি. ও. বক্সের সাহায্যে রোধ নির্ণয়ের বর্তনী চিত্র। কেবল রোধ নির্ণয়ে CD অংশ (i)-এর মত, শ্রেণী সজ্জায় (ii)-এর মত এবং সমান্তরাল সজ্জায় (iii)-এর মত হবে)

যন্ত্রাদি (**Apparatus**)। পি. ও. বক্স ; অজানা রোধ (10 ওহ্‌মের মধ্যে হলে সুবিধার) ; 'লেক্ল্যাঁসে বা ড্যানিয়েল সেল ; শান্টযুক্ত ধারামাপী ; সংযোগী তার। (পি. ও. বক্সের বর্ণনা 7-12.2 বিভাগে দেয়া আছে।)

[পরীক্ষণের নির্দেশ (**Directions for the experiment**)

(১) 7.23 চিত্রের মত বর্তনী গঠন কর। P, Q, R বাহু তিনটির প্রত্যেকটিতে 10 ওহ্‌ম্ করে রোধ দিয়ে রাখ। অন্যান্য সব প্লাগগুলি যথেষ্ট আঁট আছে কিনা দেখে নাও। সবগুলি সংযোগী তারও একটু করে টেনে দেখ কোনটি আলগা আছে কি না। লক্ষ্য করে দেখ তোমার পি. ও. বক্সের দুটি বাঁধনী স্ক্রুর গোড়ায় B, B, দুটির গোড়ায় G, G ও অন্য দুটির গোড়ায় X, X লেখা আছে কি না। থাকিলে B, B-তে ব্যাটারি সংযোগ ; G, G-তে ধারামাপী ও X, X-এ অজানা রোধ যোগ কর।

(২) শিক্ষককে বর্তনী দেখিয়ে অনুমতি পেলে কাজ আরম্ভ কর।

(৩) ব্যাটারির চাবি K_1 চেপে রেখে মুহূর্তের জন্য ধারামাপীর চাবি K_2 টেপ। ধারামাপীর বিক্ষেপ কোন্ দিকে হয় দেখ। দেখা হলেই দুই চাবি ছেড়ে দিও। এতে ব্যাটারি ও গ্যালভানোমিটার বর্তনী বিচ্ছিন্ন হয়ে থাকবে।

(৪) R_3 র মান (রিওস্ট্যাট বাহুর রোধের মান) 10 ওহ্‌মের বদলে 1 ওহ্‌ম্ কর। এবারও প্রথমে K_1 ও পরে K_2 টিপে ধারামাপীর বিক্ষেপ কোন্ দিকে হয় দেখ। বিক্ষেপ সম্ভবত আগের বিপরীত দিকে হবে। [অন্তত আমরা এখানে তাই ধরে কাজ বর্ণনা করব। যদি তা না হয়, তবে R_3-র মান পালা করে 20 ওহ্‌ম্, 30 ওহ্‌ম্, 40 ওহ্‌ম্, ইত্যাদি করতে থাক এবং প্রত্যেকবার আগের মত বিক্ষেপের দিক্ দেখ।]

(৫) যে দুই রোধে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়, X রোধের মান সেই সীমার মধ্যে কোথাও আছে। ওপরের সীমা থেকে R_3 রোধ এক এক ওহ্‌ম্ করে কমিয়ে যে এক ওহ্‌ম্ সীমার মধ্যে বিক্ষেপের দিক্ উল্টোয় তা বার কর। ধর তা $(n+1)$ এবং n ওহ্‌মের মধ্যে হয়। X এই সীমার মধ্যে আছে।

(উদাহরণস্বরূপ ধর, 5 ও 4 ওহ্‌মের মধ্যে হয়। এখানে $n=4$।)

(৬) এবার R_1-এর মান (P বাহুর রোধ) 10-এর বদলে 100 ওহ্‌ম্ কর। R_2-র মান বদলাবে না (10-ই থাকবে)। R_3-এর মান $10\ (n+1)$ (গৃহীত উদাহরণে 50) ওহ্‌ম্ থেকে আরম্ভ করে আবার এক এক ওহ্‌ম্ করে কমিয়ে যাও ও পর পর কোন্ দুই ওহ্‌মের মধ্যে বিক্ষেপের দিক্ বদলায় দেখ। ধর তা $10n+5$ ও $10n+4$ ওহ্‌মের মধ্যে (অর্থাৎ 45 ওহ্‌ম্ ও 44 ওহ্‌মের মধ্যে) হল।

(৭) R_2-এর মান ঠিক রেখে R_1 রোধ 1000 কর। ধারামাপীর শান্ট খুলে দাও। R বাহুতে রোধ $10 \times (10n+5)$ (অর্থাৎ গৃহীত উদাহরণে 450) ওহ্‌ম্ কর এবং আগের মত এক এক ওহ্‌ম্ করে রোধ কমিয়ে দেখ কোন্ (বা কোন্ কোন্) রোধে কোন বিক্ষেপ টের পাওয়া যায় না। এই রোধ বা রোধগুলির গড় মান কত দেখ। তাই R_3।

(৮) পাওয়া গেল P-তে রোধ $R_1=1000$, Q-তে রোধ $R_2=10$, ও R বাহুতে রোধ R_3 হলে ধারামাপীতে বিক্ষেপ হয় না। এবার সূত্র প্রয়োগ করে X বার কর। $X=\frac{10}{1000} \times R_3$]

নিরীক্ষা (Observations)

(নিচের মত সারণি ব্যবহার করতে পার)

রোধ	P বাহুতে রোধ R_1	Q বাহুতে রোধ R_2	রিওস্ট্যাট R বাহুতে রোধ R_3 ওহ্‌ম্	বিক্ষেপের দিক্ (ডান কি বাঁ)	সিদ্ধান্ত
	10	10	10	ডান	
	10	10	1	বাঁ	
	”	”	9	ডান	X-এর মান 5 থেকে 4 ওহ্‌মের মধ্যে
	……	……	…	…	
X (অজানা)	”	”	5	ডান	
	”	”	4	বাঁ	
	100	10	50	ডান	X-এর মান 4·5 থেকে 4·4 ওহ্‌মের মধ্যে
	……	……	…	…	
	100	10	45	ডান	
	100	10	44	বাঁ	
	1000	10	450	ডান	
	”	”	445	বিক্ষেপ নাই	R_3=4·44 ওহ্‌ম্
	”	”	444	”	
	”	”	443	”	
	”	”	442	বাঁ	

হিসাব (Calculations) ও ফল (Result)।

শূন্য-বিক্ষেপ অবস্থায় পাওয়া গেল $R_1=1000$, $R_2=10$, $R_3=\cdots$(ধর 444 ওহ্‌ম্)

অতএব অজানা রোধ $X=\frac{R_2}{R_1}\cdot R_3=\frac{10}{1000}\times\cdots=\cdots$ওহ্‌ম্

(গৃহীত উদাহরণে X=4·44 ওহ্‌ম্ ।)

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed)।

(১) [7.23 চিত্রের CD-তে (i) অংশ বসান] চিত্রের মত বর্তনী গঠন করা হল। P, Q, *R* বাহুতে 10 ওহ্‌ম্ করে রোধ রেখে শিক্ষককে বর্তনী দেখিয়ে অনুমতি পেয়ে কাজ আরম্ভ করা হল।

(২) প্রথমে ব্যাটারির ও পরে ধারামাপীর চাবি টিপে ধারামাপীতে কোন্ দিকে বিক্ষেপ হয় দেখা হল। $R_3=1$ ওহ্‌ম্ করলে বিক্ষেপের দিক্ আগের বিপরীত হল।

(৩) $R_3=10$ ওহ্‌ম্ থেকে এক এক ওহ্‌ম্ করে কমিয়ে প্রত্যেক বার বিক্ষেপের দিক্ দেখা হল। $R_3=\cdots$ওহ্‌ম্ ($n+1$) ও…ওহ্‌মের (n) মধ্যে বিক্ষেপের দিক্ বদলায়।

(৪) P বাহুতে রোধ 100 করা হল। R_3=…ওহ্‌ম্ ($10n+10$) করে আবার রোধ এক এক ওহ্‌ম্ করে কমিয়ে বিক্ষেপের দিক্ দেখা হতে থাকল। R_3=…ওহ্‌ম্ ও…ওহ্‌মের মধ্যে বিক্ষেপের দিক্ পরিবর্তন হয়।

(৫) P-তে রোধ 1000 করে দেখে গেল R_3=…রোধে (বা…,…রোধে) ধারামাপীতে কোন বিক্ষেপ হয় না। অতএব দেখা গেল $R_1 = 1000$, $R_2 = 10$ এবং R_3=…ওহ্‌ম্ হলে ধারামাপীতে বিক্ষেপ হয় না। এ থেকে ফল (X) হিসাব করা হল।

(৬) বর্তনী খুলে রাখা হল।

সতর্কতা (Precautions)।

(১) পি. ও. বক্সে যে প্লাগগুলি খোলা হবে সেগুলি ছাড়া অন্যগুলি যথেষ্ট আঁটা আছে কিনা দেখতে হয়।

(২) তারের সংযোগগুলিও আঁটা থাকবে। তার একটু একটু টেনে তা দেখতে হয়।

(৩) বিক্ষেপ দেখতে গেলে সব সময়ই আগে ব্যাটারির চাবি ও পরে ধারামাপীর চাবি টিপতে হয়।

সম্ভাব্য মৌখিক প্রশ্ন। (১) পি. ও. বক্স কি জিনিস? এর এরকম নাম কেন? এর ক্রিয়ার তত্ত্ব কি? (৩) বর্তনীতে ধারার মানের ওপর শূন্য-বিক্ষেপ শর্ত নির্ভর করে কি? (৪) পি. ও. বক্সের সঙ্গে ব্যাটারি ও ধারামাপীর সংযোগ বদলাবদলি করলে শূন্য-বিক্ষেপ শর্তের কোন পরিবর্তন হবে কি?

উত্তর ঃ 7-12 বিভাগ দেখ। (২) এই পরীক্ষণের 'তত্ত্ব' দেখ। (৩) করে না। (৪) হবে না।

7-15. পরীক্ষণ 32 (Experiment 32)

পি. ও. বক্সের সাহায্যে রোধের শ্রেণীসজ্জা ও সমান্তরাল সজ্জার সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়

(To verify the laws of series and Parallel resistances with P. O. Box)

তত্ত্ব (Theory) ঃ (ক) r_1 ও r_2 মানের দুটি রোধ শ্রেণীসজ্জায় যোগ করলে এদের যৌথ রোধ r_s-এর মান হবে $r_s = r_1 + r_2$।

(খ) r_1 ও r_2 মানের দুটি রোধ সমান্তরাল সজ্জায় যোগ করলে এদের যৌথ রোধ r_p-র মান হবে $\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$.

(গ) হুইটস্টোন ব্রিজের তত্ত্ব অনুসারে $\frac{P}{Q}=\frac{R}{X}$ হলে ধারামাপী দিয়ে কোন প্রবাহ যাবে না। এই তত্ত্বের সাহায্যে r_s ও r_p মাপা যায়। r_1 ও r_2 জানা থাকলে বা নির্ণয় করে সূত্র দুটির যাথার্থ্য নির্ণয় করা যায়। [যুক্ত রোধের সংখ্যা দুই-এর বেশী হতে পারে। কিন্তু সম্পর্ক একই রকম থাকবে।]

যন্ত্রাদি (**Apparatus**) ঃ পি. ও. বক্স ; দুটি জানা বা অজানা রোধ r_1 ও r_2 (2 ও 5 ওহ্‌ম্ বা 5 ও 10 ওহ্‌ম্ হলে ভাল) ; লেক্লাঁসে বা ড্যানিয়েল কোষ ; ধারামাপী ; সংযোগ তার।

(পি. ও. বক্সের বর্ণনা 7-12.2 বিভাগে দেয়া আছে।)

[**পরীক্ষণের নির্দেশ (Directions for the experiment)** ।

(১) 7.23 চিত্রের মত বর্তনী গঠন কর। প্রথমে সেখানে অজানা রোধ X-এর বদলে r_1 ও r_2 রোধের মান আলাদা করে বার কর। এবার r_1 ও r_2 শ্রেণী সজ্জার [7.23 (i) চিত্র] রোধ r_s ও পরে r_1 ও r_2 সমান্তরাল সজ্জার [7.23 (ii) চিত্র] রোধ r_p ব্যবহার করে r_s ও r_p-র মান বার কর। বাকী সব নির্দেশ পরীক্ষণ 31-এর মত (7-14 বিভাগ)। r_1 ও r_2 জানা থাকলে শুধু r_s ও r_p বার করতে হবে।]

নিরীক্ষা (Observations) ঃ

r_1 ও r_2 জানা না থাকলে পরীক্ষণ 31-এর নিরীক্ষার মত r_1, r_2, r_s ও r_p নির্ণয় করার জন্য চারটি সারণি কর। যদি r_1 ও r_2 জানা থাকে তবে শুধু r_s ও r_p-র জন্য সারণি করলেই হবে।

হিসাব (Calculations) ও মন্তব্য (Conclusion) ঃ

r_1 ওহ্‌ম্	r_2 ওহ্‌ম্	r_1 ও r_2-র সজ্জা	r_1 ও r_2-র যৌথ রোধ ওহমে		মন্তব্য
			সূত্র মত	পরীক্ষা মত	
...	...	শ্রেণী	...	...	পরীক্ষণের ত্রুটির সীমার মধ্যে শ্রেণী সজ্জা সমান্তরাল সজ্জার সূত্র দুটি প্রমাণিত হল।
		সমান্তরাল	...	...	

কার্যপ্রণালী বর্ণনা (Method followed) :

(১) থেকে (৫) পরীক্ষণ 31-এর মত। শুধু X-এর বদলে r_1 লেখ। (৬) একই পদ্ধতিতে r_2, r_s, r_p নির্ণয় করা হল। (৭) বর্তনী খুলে রাখা হল।

সতর্কতা (Precautious) : পরীক্ষণ 31-এর মত।

মৌখিক প্রশ্ন। (১) রোধকের শ্রেণীসজ্জা কাকে বলে? (২) রোধকের সমান্তরাল সজ্জা কাকে বলে? (৩) শ্রেণী ও সমান্তরাল সজ্জা কি একাধিক রোধের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য?

উত্তর। (১) রোধকের যে রকম সংযোগে সব রোধগুলির মধ্য দিয়ে একই প্রবাহ যায় তাকে শ্রেণী সজ্জা বলে। (২) রোধকের যে রকম সংযোগে রোধগুলির একপ্রান্ত এক বিন্দুতে ও অন্য প্রান্ত অন্য বিন্দুতে যুক্ত করা হয় তাকে সমান্তরাল সজ্জা বলে। রোধকের মান আলাদা হলে এদের মধ্যে দিয়ে প্রবাহ আলাদা হয়। (৩) শ্রেণী ও সমান্তরাল সজ্জা একাধিক রোধের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য।

WEST BENGAL COUNCIL OF HIGHER SECONDARY EDUCATION

Physics Practical Examination—1985

(General Stream Course)

Time : 3 Hours] [Full Marks : 40

Group A এবং Group B প্রত্যেকটি হইতে একটি করিয়া প্রশ্ন লইয়া মোট দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও। Group A-এর পরীক্ষাটি 1 ঘণ্টা সময়ের মধ্যে করিতে হইবে এবং প্রশ্নের মান 12 marks ; Group B-এর পরীক্ষাটি 2 ঘণ্টা সময়ের মধ্যে করিতে হইবে এবং প্রশ্নের মান 18 marks। ল্যাবোরেটরী নোটবুক—6 marks। মৌখিক পরীক্ষা—4 marks।

Group—A

১। ঔদস্থিতিক তুলাযন্ত্রের সাহায্যে জলে অদ্রাব্য এবং জল অপেক্ষা ভারী প্রদত্ত অসম আকৃতির কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয় কর।

২। ঔদস্থিতিক তুলাযন্ত্রের সাহায্যে জলে অদ্রাব্য এবং জল অপেক্ষা হাল্কা প্রদত্ত কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

৩। ঔদিস্থিতিক তুলাযন্ত্রের সাহায্যে জলে অদ্রাব্য এবং জল অপেক্ষা ভারী প্রদত্ত কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

৪। আপেক্ষিক-গুরুত্ব-বোতলের সাহায্যে প্রদত্ত তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

৫। অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। (তাপমাত্রার জন্য সংশোধন উপেক্ষা কর।)

৬। পিন-পদ্ধতিতে সমতল দর্পণের সাহায্যে আলোকের প্রতিফলনের সূত্রগুলির সত্যতা প্রমাণ কর। (কমপক্ষে তিনটি ভিন্ন আপতন কোণ লইয়া পরীক্ষাটি করিতে হইবে।)

৭। পিন-পদ্ধতিতে একটি কাঁচের আয়ত চৌপলের সাহায্যে আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলির সত্যতা প্রমাণ কর। (কমপক্ষে তিনটি ভিন্ন আপতন কোণ লইয়া পরীক্ষাটি করিতে হইবে।)

Group—B

১। আপেক্ষিক-গুরুত্ব-বোতলের সাহায্যে প্রদত্ত জলে অদ্রাব্য, দানাযুক্ত কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

২। সরল দোলকের ক্ষেত্রে দেখাও যে দোলকের দোলনকালের বর্গ উহার কার্যকর দৈর্ঘের সমানুপাতী ($T^2 \propto l$)। T^2 ও l-এর পাঠগুলি লইয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন কর। পাঠ হইতে অথবা লেখর সাহায্যে 'g'-এর মান নির্ণয় কর। (কমপক্ষে তিনটি কার্যকর দৈর্ঘ্য লইয়া পরীক্ষাটি করিতে হইবে। দৈর্ঘগুলি যেন কমপক্ষে 5 সেমি. ব্যবধানে থাকে। গোলকের ব্যাস দেওয়া হইবে।)

৩। ভার্নিয়ার বা সার্লের পদ্ধতিতে প্রদত্ত তারের উপাদানের ইয়ং গুণাংক নির্ণয় কর এবং ভার-দৈর্ঘবৃদ্ধি লেখচিত্র অঙ্কন করিয়া হুকের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর। (কমপক্ষে পাঁচটি ভিন্ন ভারের জন্য এবং ভার বৃদ্ধি ও হ্রাসের সময় পাঠ গ্রহণ করিতে হইবে। ইয়ং গুণাংক নির্ণয়ে লেখচিত্র ব্যবহার করা বাধ্যতামূলক নহে।) [তারের ব্যাস দেওয়া হইবে।]

৪। বায়ুমণ্ডলের সমান চাপ, উহা অপেক্ষা কম দুইটি চাপ ও বেশী দুইটি চাপ ব্যবহার করিয়া গ্যাসের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর। $p-v$ অথবা $p-l$ লেখচিত্র অঙ্কন কর। (বায়ুমণ্ডলের চাপ দেওয়া হইবে।)

৫। বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয় কর। (বিকিরণজনিত সংশোধন উপেক্ষা কর। প্রদত্ত তরল ও ক্যালোরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ দেওয়া হইবে।)

৬। মিশ্রণ পদ্ধতিতে বরফের গলনের লীনতাপ নির্ণয় কর। বিকিরণজনিত সংশোধন উপেক্ষা কর। (ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ দেওয়া হইবে।)

৭। সনোমিটারের সাহায্যে প্রদত্ত টিউনিং ফর্কের কম্পাংক নির্ণয় কর। (কমপক্ষে তিনটি ভিন্ন টান ব্যবহার করিতে হইবে।) (তারের প্রতি একক দৈর্ঘের ভর দেওয়া হইবে।)

৮। $u—v$ পদ্ধতিতে প্রদত্ত উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। $u—v$ লেখচিত্র অঙ্কন কর। (কমপক্ষে পাঁচটি বস্তুদূরত্ব লইয়া পরীক্ষাটি

করিতে হইবে এবং ইহাদের মধ্যে যেন কমপক্ষে 2 cm করিয়া ব্যবধান থাকে।)

৯। একটি দণ্ডচুম্বকের উত্তরমেরু উত্তরমুখী থাকা অবস্থায় উহার বলরেখাগুলি অঙ্কন কর এবং চিত্রে উদাসীন বিন্দুগুলির অবস্থান চিহ্নিত কর।

১০। একটি দণ্ডচুম্বকের উত্তরমেরু দক্ষিণমুখী থাকা অবস্থায় উহার বলরেখাগুলি অঙ্কন কর এবং চিত্রে উদাসীন বিন্দুগুলির অবস্থান চিহ্নিত কর।

১১। অ্যামমিটার ও ভোল্টমিটারের সাহায্যে ওহ্‌মের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর এবং প্রদত্ত অজ্ঞাত রোধের মান নির্ণয় কর। V—I লেখচিত্র অঙ্কন কর। (কমপক্ষে পাঁচটি পর্যবেক্ষণ লইয়া সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতে হইবে।)

১২। একটি P. O. Box-এর সাহায্যে প্রদত্ত অজ্ঞাত রোধ দুইটির মান পৃথক-ভাবে এবং সমান্তরাল সমবায়ে নির্ণয় কর এবং সমান্তরাল সমবায়ে রোধের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর।

১৩। মিটার ব্রীজের সাহায্যে প্রদত্ত তারের রোধ নির্ণয় কর। (তারের রোধ নির্ণয়ের জন্য কমপক্ষে তিনটি জ্ঞাত রোধ ব্যবহার কর এবং তারের ও জ্ঞাত রোধের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া পাঠ লও।) [প্রান্তিক সংশোধন উপেক্ষা কর।]

১৪। একটি মিলিঅ্যামমিটারের সাহায্যে প্রদত্ত ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের লঘুগুণাঙ্ক নির্ণয় কর। গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 30° ও 60° করিতে যে প্রবাহমাত্রা দুইটির প্রয়োজন তাহাদের মান নির্ণয় কর।

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7

Some useful logarithms

$\log \pi = 0.4971$

$\log 76 = 1.8808$

$\log 273 = 2.4362$

$\log 980 = 2.9912$

$\log 13.6 = 1.1335$

$\log 4.2 = 0.6232$

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4

Some useful constants

$\pi = 3.1416 = 3.142$

$\pi^2 = 9.8696 = 9.870$

$e = 2.71828\ldots\ldots = 2.718$

$\log_e 10 = 2.30258\ldots = 2.303$

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \ldots\ldots \text{ to } \infty$$

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
·00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
·12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
·13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
·20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
·21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
·22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
·23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
·27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
·28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
·40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
·41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
·42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
·43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
·44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
·45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
·49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6

Conversion table

	Reciprocal		Reciprocal
1 inch = 2.54 cm	0.3937	1 lb = 453.6 gm	0.0022
1 yard = 0.9144 m	1.0936	= 0.4536 Kgm	2.2046
1 cu. ft. = 28.32 litres	0.03531	1 gallon = 4.546 litres	0.2200

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences 1	2	3	4	5	6	7	8	9
·50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
·51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·53	3388	3306	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
·56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
·59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
·60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
·61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
·67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
·68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
·69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
·70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
·71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
·72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
·73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
·74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
·75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
·76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
·77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
·78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
·79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
·80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
·81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
·84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
·85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
·88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
·89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
·90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
·91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
·92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
·93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
·96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
·97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
·98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
·99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

Conversion table (Contd.)

	Reciprocal
1 atmos. $=1.013\times10^6$ dynes/sq. cm.	9.873×10^{-7}
1 gm/c.c. $=62.43$ lb/cu. ft.	0.01602
1 radian $=57.3$ degrees	0.01745
1 calorie $=4.185$ joules	0.2389

$\log_e x=\log_e 10\times\log_{10}x=2.303\times\log_{10}x$

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

ডঃ ডি. পি. রায়চৌধুরী বিজ্ঞান জগতে একটি সুপরিচিত নাম। সারা জীবন শিক্ষাকার্য্যে ব্যাপৃত থাকাকালীন ছাত্র-ছাত্রীদের বিভিন্ন অসুবিধার কথা মনে রেখে এই বইটি অধ্যাপক দীপক রায়ের সহযোগিতায় রচনা করেছেন। অধ্যাপক রায়ও প্রায় ১৭ বছর যাবত অধ্যাপনার কাজে নিযুক্ত। ডঃ রায়চৌধুরীর উচ্চ-মাধ্যমিক স্নাতক শ্রেণীর পাশ ও অনার্সের বইগুলি শিক্ষক ও ছাত্রদের প্রচুর সমাদর লাভ করেছে। আশা করা যায় এই বইটিও শিক্ষক ও ছাত্র-ছাত্রীদের কাছে সমাদর লাভ করবে।